

УДК 631.53.027.34

## АКУСТИЧНІ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ПРОДУКЦІЇ

**Яковлєв В.Ф., к.т.н.,**

**Лисенко О.В., інженер**

*Сумський національний аграрний університет*

Телефон: (066) 145-58-62; (066) 575-49-11

**Анотація** – на підставі проведеного аналізу обґрунтовано можливість застосування методу акустичного зондування при контролі якості і обробці продукту, запропоновано узагальнені фізичні моделі продуктів різного агрегатного стану та структура акустичної системи.

**Ключові слова:** акустичне зондування, простір параметрів акустичного поля, інформаційний сигнал, простір якісних ознак продукту, швидкість звуку, коефіцієнт поглинання, частота, коефіцієнт Пуасона.

*Постановка проблеми.* Ефективність виробництва сільськогосподарської продукції у більшості визначається якістю продукції, як на стадії вихідної сировини, так і на різних стадіях технологічної переробки, що можливо лише при широкому впровадженні сучасних методів і засобів виміру параметрів сільськогосподарської продукції.

Наукові дослідження, які направлені на створення ефективних енерго- та ресурсозберігаючих технічних систем, що забезпечують експресний контроль якісних показників в ході технологічного процесу є актуальними.

Такі технічні засоби можна створювати використовуючи метод акустичного зондування, який засновано на відображенні якісних ознак продукту в просторі параметрів акустичного поля [1–9].

*Аналіз останніх досліджень і публікацій.* 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, більшість з них не має глибоких теоретичних досліджень, що дозволяють з єдиних позицій підійти до питань проектування названих систем, прогнозувати отримання визначеного технічного або економічного ефекту, систематизувати та уні-

фікувати 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 інколи протилежні і недостатні для їх узагальнення та практичної реалізації [1–9].

Вище викладене визначає мету та основні задачі досліджень і дозволяє глибше дослідити процеси в системі з продуктом та сформулювати основні принципи побудови електроакустичних систем зондування якісних ознак та систем обробки продуктів.

*Формулювання мети статті.* Робота направлена на обґрунтування основних функціональних складових електроакустичного технічного засобу вимірювання якісних ознак продукту або дії акустичного поля на продукт при його обробці.

*Основні матеріали досліджень.* Необхідність розробки технічних засобів контролю якісних ознак та систем обробки продуктів, а саме акустичних систем, їх об'єм та область застосування диктується вимогами технології виробництва того чи іншого виду продукції (рис.1).

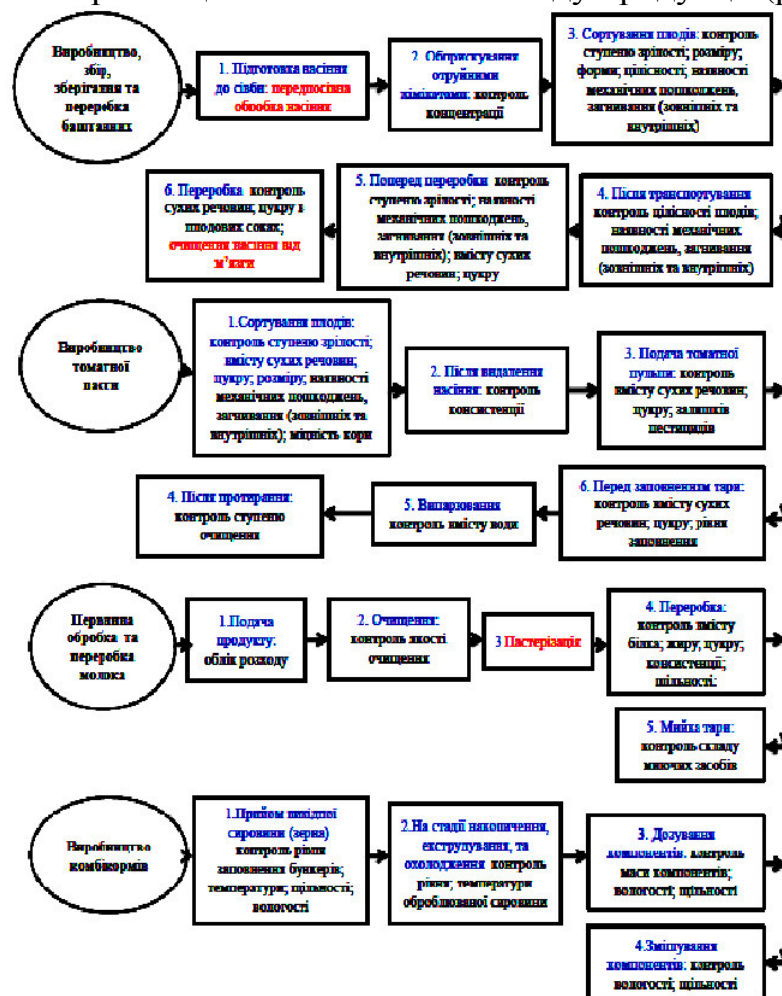


Рис.1. Приклади застосування акустичних методів в деяких технологіях сільськогосподарського виробництва.

Сільгосппродукти характеризуються множиною якісних ознак: розміром, формою, ступеню зрілості, вмістом сухих речовин, цукру, пектинових речовин, клітковини, різних вітамінів та ряду хімічних елементів і речовин, які визначають фізико-біохімічні властивості продукту.

Аналіз технологічних операцій показує, що в ряді операцій необхідно здійснювати контроль якісних ознак продуктів, які знаходяться в різному агрегатному стані (зруйнований та незруйнований) у іншому випадку – необхідно здійснювати деяку дію на продукт з метою отримання нової якості (передпосівна обробка, очищення та ін.).

При визначенні якісних ознак продуктів або його обробки на різних етапах технологічного процесу акустичними методами виникає необхідність перетворення простору якісних ознак продукту (вміст сухих речовин, цукру та інше) в простір акустичних величин, які мають розміри: частоти  $\omega$ , швидкості  $c$  переміщення  $u$ , коефіцієнта поглинання  $\delta$ , які в свою чергу, визначаються акустичними параметрами системи: продукт – первинний перетворювач (масою  $m$ , пружністю  $C$ , акустичним опором  $Z$ ).

Сукупність вище зазначених просторів являє собою модель, яка дозволяє еквівалентно представити якісні параметри продуктів або процесу через акустичні параметри системи. Ефективність теорії та математичних моделей в практичному застосуванні, у своїй більшості, визначається коректністю запропонованої фізичної моделі, отже, фізична модель процесу повинна відображати основну суть методу контролю або обробки продукту. З метою розробки фізичної моделі необхідні знання фізико-біохімічних характеристик продукції, що контролюється.

Усі сільськогосподарські продукти можна розподілити, умовно, на три основні групи по їх агрегатному стану: продукти, які мають фіксовану геометричну форму (баштанні плоди, томати, баклажани, яйця та інше); продукти, що знаходяться у рідинному стані (томатний, яблуневі та інші соки, молоко, мінеральні мастила); сипучі продукти і матеріали (насіння різних культур, зерно, комбікорм та інше).

Із аналізу морфології та анатомічної структури продуктів першої групи (фіксованої геометричної форми), в загальному виді, можна виділити наступні характерні складові: оболонка, яка забезпечує міцність продукту і мають визначені фізико-біохімічні властивості; різні компоненти, що входять до внутрішнього складу продукту і також мають свої, як фізико-біохімічні властивості так і визначені форми, розміри та агрегатний стан. При цьому зроблені наступні раціональні допущення: плід розглядається, як система з розподіленими параметрами; плід має форму кулі (індекс форми  $i = 0,94 - 1,06$ ); плід складається із: оболонки (кора, товщина  $h_k$  якої приймається постійною і ма-

теріал приймається однорідним та ізотропним, який характеризується щільністю  $\rho_K$ , модулем пружності  $E_K$ , коефіцієнтом Пуассона  $\mu_K$ ) та наповнювачів (м'якоть, в якості якої прийняте рідинно-газове середовище з твердими включеннями (плацента з насінням) з щільністю  $\rho_M$  і об'ємним модулем пружності  $K_M$ ) (рис. 2, а) [7, 8, 10].

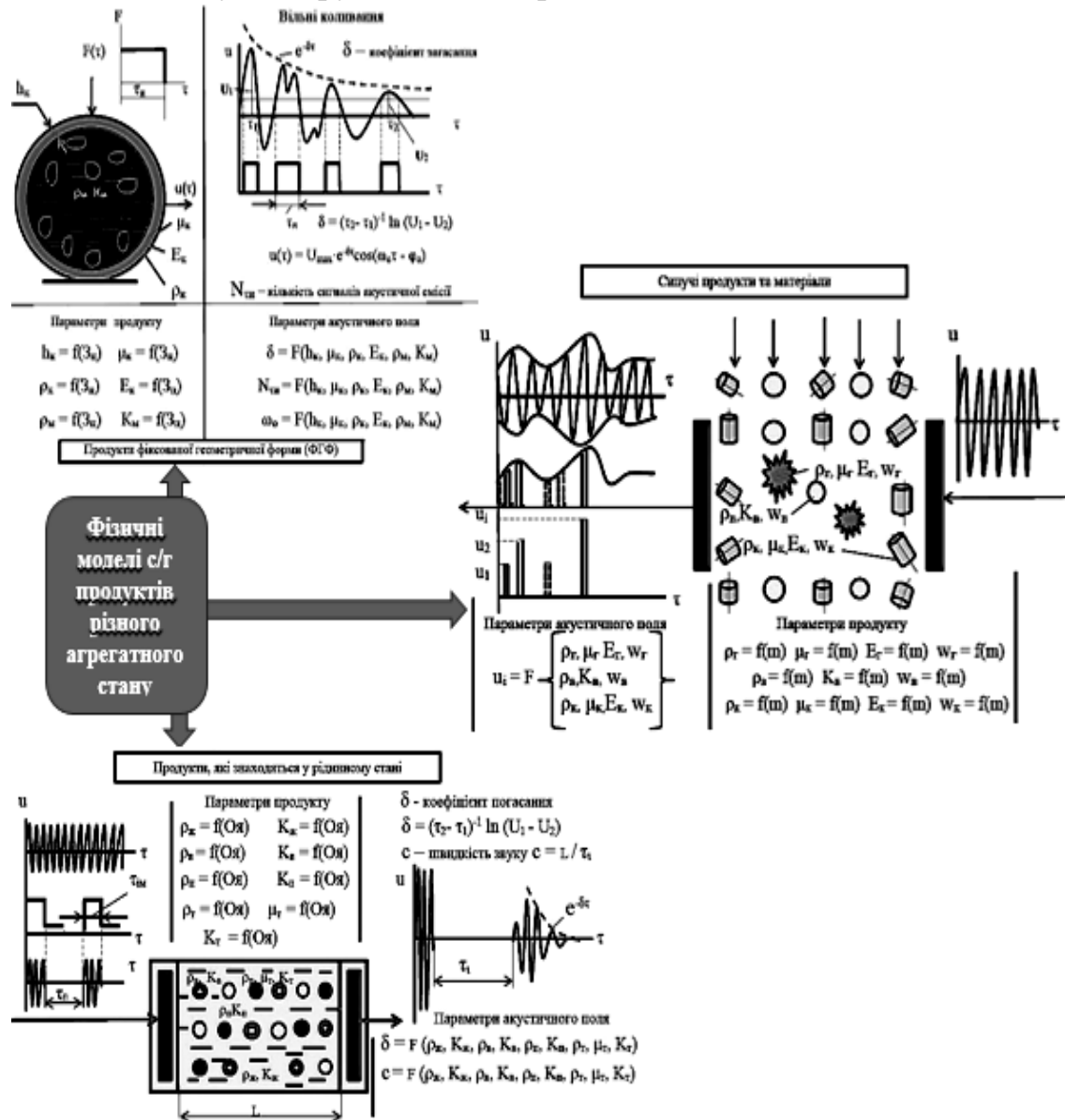


Рис.2. Узагальнені фізичні моделі продуктів різного агрегатного стану.

Враховуючі вище наведене, можна зробити висновок, що для проведення теоретичних досліджень якісних ознак продуктів фіксованої геометричної форми по параметрам акустичного поля при зондуванні, ці продукти можна розглядати, як об'єкти, що складаються із внутрішньої сфери та внутрішніх сферичних шарів з різними фізичними характеристиками. Така постановка є найбільш загальною і рішення для кожного із процесів може бути представлено, як частковий

випадок загального рішення задачі взаємодії акустичної хвилі з багаточастиновим середовищем.

До другої групи продукції (які знаходяться в рідинному стані) можна віднести: молоко, яблуневий, виноградний, томатний та інші соки, мінеральні масла та інше [1, 2, 5, 9]. Аналіз наведених фізичних моделей сільгосппродуктів рідинних фракцій свідчить про те, що вони мають однакову структуру, яка складається із трьох основних компонентів: рідинної, в'язкої основи, газоподібних порожнин та відносно твердих включень.

Різниця складається у фізико-механічних характеристиках компонентів. Це дозволяє скласти загальну, характерну для даного виду продукції фізичну модель. При цьому зроблені наступні раціональні допущення: каплі води, жирові кульки, абразивні включення, бульбашки повітря та інше рівномірно розподілені і замкнені у визначеному об'ємі; кожний із видів часток має однаковий розмір зі своїми значеннями щільності  $\rho_i$ , модулем пружності  $E_i$ , коефіцієнтом Пуассона  $\mu_i$  або модулем об'ємної пружності  $K_i$  (рис. 2, в).

До третього виду продуктів відносяться насіння зернових, баштанних, овочевих культур, комбікорми і їх компоненти, білково-вітамінні добавки, кісткове борошно та ряд інших. Кожний із видів сипучих матеріалів характеризується рядом фізико-механічних параметрів: гранулометричним складом, формою, щільністю часток, вологістю, температурою [1, 3, 4]. Як правило, потік сипучих матеріалів при дозуванні переміщується у визначеному повітряному потоці, обмеженим розмірами випускного вікна, тобто розподілений по перерізу повітряного потоку. При переміщенні частки сипучих матеріалів можуть бути орієнтовані самим різноманітним образом відносно своєї вісі симетрії у стані покою (до процесу початку дозування), а також у процесі переміщення можуть здійснювати обертові рухи. Врахувати орієнтацію часток в кожний момент часу практично неможливо (рис. 2, б).

З урахуванням вище викладеного, в дозованому потоці можна виділити наступні структурні компоненти фізичної моделі потоку: газове (повітряне) середовище, потік самих часток (насіння, зерно) та тверді включення, які представляють собою грудки дозованої сировини. Для складання фізичної моделі потоку сипучих матеріалів (рис. 2, б) прийняті наступні допущення: розміри часток конкретного виду сипучого матеріалу вважаються однаковими; частки рівномірно розподілені по перерізу потоку; орієнтація часток в потоці однакова; повітряний потік враховується безперервним та рівномірним; «грудки» вважаються однаковими в перерізі робочого вікна незалежно від їх дійсного розміру; частки одного і того ж виду сипучого матеріалу мають однакові значення фізико-механічних характеристик.

Зняття інформації з досліджуваного продукту потребує застосування визначених технічних засобів. Технічні засоби вимірювання якісних ознак сільгосппродуктів або технічні засоби дії акустичного поля на продукт при його обробці представляють собою акустичні системи з первинним перетворювачем, який заповнено продуктом, що досліджується. Хвильові процеси, що відбуваються в акустичній системі залежать від властивостей цього продукту. Схема акустичної системи для обробки або контролю якісних ознак продуктів по одному із його фізико-біологічних параметрів наведено на рис. 3.

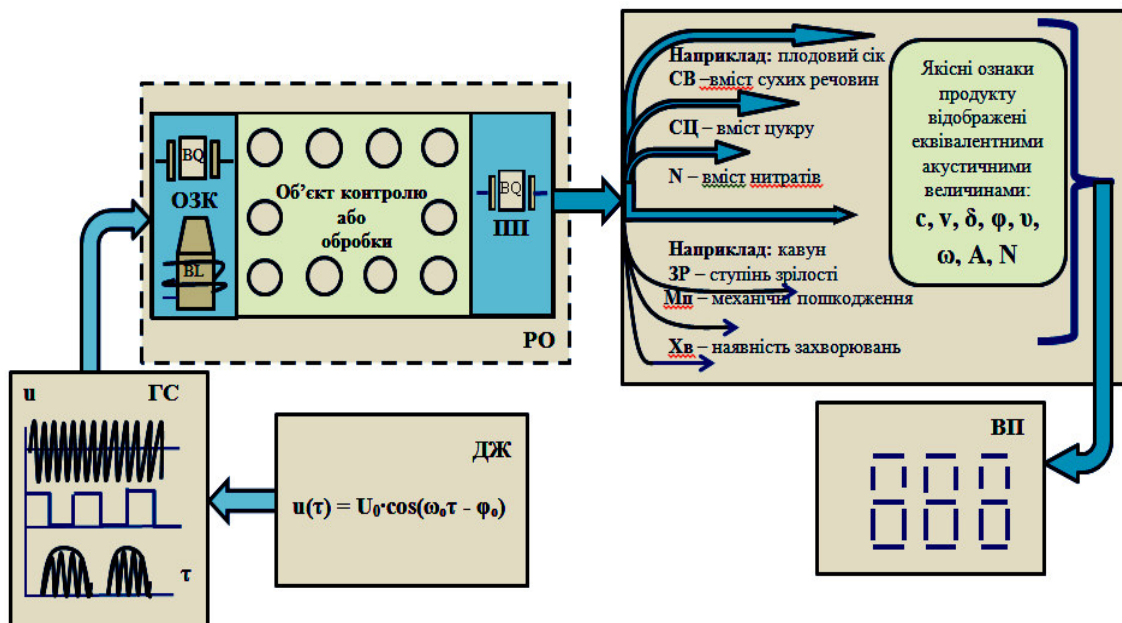


Рис. 3. Структура акустичної системи контролю якісних ознак і обробки продукту та схема проходження сигналу через систему: ДЖ – джерело живлення; ГС – генератор сигналів; ОЗК – орган збудження коливань; ПП – первинний перетворювач; РО – робочий орган; ВП – вимірювальний пристрій.

Акустична система складається із наступних основних блоків: джерела живлення ДЖ; генератора сигналів ГС; робочого органа, який включає у собі: орган збудження коливань ОЗК; об'єкт контролю або обробки (досліджуваний продукт); первинний перетворювач ПП; вимірювальний пристрій ВП. В робочому органі РО під дією акустичного поля може здійснюватися не тільки вимір якісних ознак, але і технологічна обробка продукту акустичним полем по заданій його властивості. Зміна властивості продукту під дією акустичного поля можна фіксувати за допомогою індикаторного пристрою ІІ.

Вимірювальні та акустичні коливальні системи, які розглядаються, схожі по фізичним процесам, що відбуваються в них. Ці процеси відображаються однаковими диференціальними рівняннями. Електротеле-

хнологічні акустичні системи споживають більше енергії, що відрізняє їх від засобів вимірювання.

Сільгосппродукти, що характеризуються відомими параметрами і які знаходяться в акустичному полі, будуть підвладні дії цього поля. При цьому буде спостерігатися взаємна дія між полем і продуктом (сільгосппродукт буде впливати на акустичне поле, а воно, в свою чергу, буде впливати на сільгосппродукт). Це взаємний вплив можна визначити кількісно за допомогою визначеної еквівалентної величини, яку можливо буде оцінювати.

Взаємодія продукту та акустичного поля оцінюється в акустичній коливальній системі, складовим елементом якого є досліджуваний продукт. Розглядувані процеси в акустичній вимірювальній системі, можна з деякою похибкою по реалізації акустичних параметрів визначити властивості продуктів, які виражені нескінченною множиною їх елементарних параметрів. Ці елементарні не акустичні параметри досліджуваного продукту, які виражають його суть, визначаються деякими фізико-механічними та біологічними характеристиками цього продукту (рис. 3).

Фізико-механічні характеристики продукту, які впливають на параметри акустичного поля і зв'язані з якісними ознаками самого продукту, виражаються щільністю компонентів продукту  $\rho$ , пружними постійними  $E$  - модулем пружності першого роду (модуль Юнга),  $\mu$  - модулем пружності другого роду (коефіцієнт Пуассона),  $K$  – модулем об'ємної пружності. Любий параметр продукту може бути виражено через названі характеристики або їх сукупність.

Акустичні сигнали  $u(t)$  є матеріальними носіями інформації про складні фізичні процеси, що протікають у функціонуючій акустичній системі з продуктом. Властивості системи визначаються властивостями елементів з відомими параметрами і властивостями сільгосппродуктів, які підлягають вимірюванню. Елементи (пьезоперетворювачі, магнітострикційні перетворювачі, елементи електричних кіл) з відомими параметрами, з яких створена система, самі не несуть інформації і використовуються тільки для формування каналу системи, що призначений для визначення невідомих акустичних і фізико-механічних та біохімічних параметрів досліджуваного або оброблюваного продукту.

*Висновки.* Продукти різних фракцій мають дуже складні біофізичні структури, їх якість визначає багато факторів, які можуть змінюватися в незначній мірі. Це, в свою чергу, пред'являє високі вимоги до точності виміру параметрів оброблюваних продуктів та надійності систем вимірювання. В цьому сенсі, одним із перспективних напрямків експресного аналізу якісних ознак продуктів є використання енергії пружних хвиль, особливо при не руйнуючому контролі наявності

внутрішніх пошкоджень, оцінки ступеню зрілості, цілісності плодів та інше.

Сукупність простору біофізичних параметрів продукту і простору параметрів акустичного поля складають біофізико–акустичний простір, який представляє собою модель, що з визначеною похибкою може відображати якісні ознаки реального продукту і служити базою для розрахунку акустичних засобів оцінки якості або систем обробки сільськогосподарської продукції по їх визначеним якісним ознакам, априорі, визначити функціональну структуру і параметри цих систем.

*Список використаних джерел*

1. *Иноземцев Г.Б., Яковлев В.Ф., Козирський В.В.* Застосування акустичних технологій в аграрному виробництві :Навчальний посібник – К.: ТОВ «Аграр Медіа Груп», 2013 – 171 с.

2. *Кушлик Р.В., Микитенко О.В., Яковлев В.Ф., Кушлик Р.Р.* Ультразвуковий експрес-метод контролю води і палива в моторному маслі // Тематичний випуск "Проблеми сучасної елек-тродинамики" / Технічна електродинаміка, Ч. 4 К.: Ін-ститут електродинаміки НАН України, 2008 - с. 81-83

3. *Квітка С. А., Яковлев В.Ф.* Пристрій для вимірювання витрати компонентів кормосумішей в потоці Патент №49906 Україна МКИ 7G01F1/66 Опубл. 15.10.2002, Бюл. №10

4. *Квітка С.А., Яковлев В.Ф.* Сравнительный анализ конструкций акустических измерительных камер технологического процесса дозирования компонентов кормосмесей // Тематичний випуск "Проблеми сучасної електротехніки"/ Технічна електродинаміка. №25-К.:Інститут електродинаміки. НАН України, 2000 - с.92-96.

5. *Мартиненко І. І. , Яковлев В.Ф., Адоньев Е.А., Гончарова Д.Н.* Ультразвуковий пристрій для вимірювання концентрації компонентів рідинних середовищ Патент №24450А Україна МКИ 6G01N29/02 Опубл. 17.07.98, Бюл. №3

6. *Яковлев В.Ф. , Терехов А.Н., Яковлева М.В.* Конструктивно-технологические схемы акустических зондирующих систем // Техника в сельскохозяйственном производстве / Тр. ТГАТА, Вып. 1,Т.3 Мелитополь, 1997 г. - с.89-94

7. The acoustic control of fruit damage Sistemy mikropro-cesorowe w rolnictwie . 2nd conference on mickoprocessor systems in acgriculture. Conference materials. 18...19 September 1997, Plock, Poland. c.113-117. *I.P. Nazarenko M.V. Yakovleva A.N. Terekhov*

8. *Kontrola jakosci owocow V.F. Jakovlev, A.N. Terechov* (Tavrijskaja Derčavna Agrotehnična Arademija 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.

9. Кушлык Р.В., Юдин Ю.М., Максимочкин Г.И., Яковлев В.Ф. Акустический метод определения воды в моторных маслах //Химия и технология топлив и масел – 1993-№10 - с.27-31

10. Яковлев В.Ф., Максимочкин Г.И. Разработка акустического метода и устройства для экспрессного анализа качества плодов бахчевых культур // Применение ультразвуки к исследованию вещества /Сб. научн. тр. Всесоюзный заочный машиностроительный институт. - М.:,1986 - с. 54...59

## **АКУСТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ**

Яковлев В.Ф., Лысенко А.В.

**Аннотация** - на основе проведенного анализа обоснована возможность применения метода акустического зондирования при контроле качества и обработке продуктов, предложены обобщенные физические модели продуктов разного агрегатного состояния и структура акустической системы.

## **ACOUSTIC SYSTEMS OF AGRICULTURAL PRODUCE QUALITY CONTROL**

V. Yakovlev, O. Lysenko

### **Summary**

On the basis of the carried out research, the possibility of using the method of acoustic sounding in the quality control and produce processing is grounded. The generalized physical models of the produce of different aggregate condition and structure of the acoustic system are suggested.