

ТАВРІЙСЬКА ДЕРЖАВНА АГРОТЕХНІЧНА АКАДЕМІЯ

**Квітка Сергій Олексійович**

УДК.631.3.02.-52.001.57

**ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИЙ ПРИСТРІЙ ДЛЯ СИСТЕМИ  
ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ДОЗУВАННЯ  
КОМПОНЕНТІВ КОРМОСУМІШЕЙ В КОРМОЦЕХАХ  
ТВАРИННИЦЬКИХ ФЕРМ**

05.09.16 – застосування електротехнологій  
у сільськогосподарському виробництві

**Автореферат**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Мелітополь – 2001

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Таврійській державній агротехнічній академії (ТДАТА) Міністерства аграрної політики України.

Науковий керівник кандидат технічних наук, доцент  
**Яковлев Валерій Федорович**  
Таврійська державна агротехнічна академія,  
доцент кафедри електропостачання  
сільського господарства

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, академік УААН  
та РАСГН, професор  
**Мартиненко Іван Іванович**  
Національний аграрний університет,  
професор кафедри автоматизації  
сільськогосподарського виробництва

кандидат технічних наук, доцент  
**Назаренко Ігор Петрович**  
Таврійська державна агротехнічна академія,  
доцент кафедри енергетики

Провідна установа Харківський державний технічний університет  
сільського господарства, кафедра застосування  
електроенергії в сільському господарстві,  
Міністерство аграрної політики України,  
м. Харків

Захист відбудеться “ 4 ” січня 2002 р. о 10<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К18.819.01 Таврійської державної агротехнічної академії, адреса: Україна, Запорізька обл., м. Мелітополь, пр. Б. Хмельницького, 18, навчальний корпус 1, конференцзал.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці ТДАТА за адресою: 72312 Україна, Запорізька обл., м. Мелітополь, пр. Б. Хмельницького, 18.

Автореферат розісланий “ 1 ” грудня 2001 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради

Черкун В.Ю.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** У сучасних економічних умовах кормоприготувальні підприємства повинні виробляти високоякісні кормові суміші, особливістю процесу приготування яких є уведення строго визначеної (дозованої) кількості різноманітних компонентів. Дослідженнями встановлено, що навіть незначне відхилення від рецепта того або іншого компонента істотно впливає на якість і собівартість кормосумішей, що готуються. Проте, у технологічних лініях кормоцехів частіше інших застосовується об'ємне дозування, яке не задовольняє зоотехнічних вимог до процесу дозування. В даний час у нашій країні і за рубежом при дозуванні кормових матеріалів застосовуються засоби для контролю витрати, в яких використовуються різні методи і принципи побудови: механічні, контактного опору, дієлькометричний, завантаження електродвигуна та інші. Проте недоліки, які властиві зазначеним засобам контролю (підвищена інерційність і висока вартість цих пристроїв, використання контактного методу контролю, висока похибка вимірювань, викликана неоднорідністю фізико-механічних властивостей матеріалів, що дозуються, складність процесу вимірювання та інші), заважають їх широкому використанню.

Тому дослідження спрямовані на розробку методів, заснованих на використанні фізико-механічних властивостей кормів, і на їх основі засобів контролю витрати компонентів кормосумішей для комплексу електрообладнання системи дозування технологічних ліній, точність яких відповідала б зоотехнічним вимогам, є актуальною задачею.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Робота виконана за комплексною темою №2 програми НДР Таврійської державної агротехнічної академії (ТДАТА) (номер реєстрації 01920006293) на 1990-1995 р., відповідно до плану НДР ТДАТА на 1996-2000 р., програми №9 "Розробка методів ультразвукової технології, електротехнічного обладнання обробки та технічних засобів експрес-контролю якості сільськогосподарської продукції в технологічному потоці"; пункт 9.6. "Розробка методів контролю якості дозування компонентів кормосумішей на основі застосування ультразвуку".

**Мета і задачі дослідження.** Метою роботи є розробка електромеханічного пристрою контролю витрати для комплексу електрообладнання системи дозування технологічних ліній, що забезпечує точність дозування відповідно до зоотехнічних вимог та базується на розповсюдженні пружних хвиль в неоднорідному середовищі – потоці дрібнофракційних компонентів кормосумішей.

Для досягнення поставленої мети вирішені такі задачі:

1. Вибір і обґрунтування методу контролю витрати при дозуванні дрібнофракційних компонентів кормосумішей.

2. Дослідження процесу розповсюдження пружних хвиль в потоці дрібнофракційних компонентів кормосумішей та визначення параметрів, які впливають на нього при дозуванні.

3. Математичне обґрунтування та експериментальне дослідження взаємозв'язку коефіцієнта поглинання пружних хвиль з витратою і фізико-механічними властивостями дрібнофракційних компонентів кормосумішей.

4. Обґрунтування параметрів та розробка конструкцій електромеханічних перетворювачів та вимірювальних камер.

5. Обґрунтування режимних і конструктивних параметрів електромеханічного пристрою (ЕМП) контролю витрати дрібнофракційних компонентів кормосумішей. Розробка структурної та принципової схем блоків та вузлів ЕМП.

6. Виготовлення дослідного зразка ЕМП, випробування у виробничих умовах та оцінка техніко-економічної ефективності.

*Об'єкт дослідження* - процес дозування дрібнофракційних компонентів кормосумішей.

*Предмет дослідження* - установлення взаємозв'язку між складовими частинами електромеханічної системи: джерело пружних хвиль - дрібнофракційні компоненти кормосумішей - приймач.

*Методи дослідження.* Теоретичне обґрунтування взаємозв'язку коефіцієнта поглинання пружних хвиль з витратою та фізико-механічними властивостями компонентів кормосумішей проводилося з використанням математичного моделювання і базувалося на положеннях теорії розповсюдження пружних хвиль в газах, теорії розсіювання та поглинання хвиль.

Експериментальні дослідження проводились як згідно з загальноприйнятими, так і розробленими методиками та передбачали використання математичного методу планування багатофакторного експерименту. Обробка вихідних даних здійснювалась математико-статистичними методами на ЕОМ з використанням: кореляційно-регресійного методу аналізу, F-критерію Фішера при перевірці гіпотези про адекватність.

### **Наукова новизна одержаних результатів.**

1. Набув подальший розвиток метод визначення витрати матеріалів, заснований на вимірюванні коефіцієнта поглинання пружних хвиль, які розповсюджуються у досліджуваному середовищі, в частині обґрунтування параметрів акустичного сигналу, що зондує, для оцінювання витрати дрібнофракційних компонентів кормосумішей.

2. Вперше отриманий і теоретично обґрунтований аналітичний опис залежностей коефіцієнта поглинання пружних хвиль від витрати та фізико-механічних властивостей дрібнофракційних компонентів кормосумішей (розміру, густини часток, температури та вологості).

3. Вперше отримані теоретичні та експериментальні залежності, які встановлюють кількісний взаємозв'язок коефіцієнта поглинання пружних хвиль з витратою та фізико-механічними властивостями (розміром, густиною часток, температурою та вологістю) борошна ячмінного кормового, висівки пшеничних, борошна м'ясокісткового.

4. На підставі теоретичних та експериментальних досліджень встановлено, що коефіцієнт поглинання пружних хвиль знаходиться в жорсткій залежності від витрати дрібнофракційних компонентів кормосумішей і може бути використаний, як джерело для одержування достовірної інформації про величину їх витрати в безперервному потоці.

5. Теоретично обгрунтовані та експериментально визначені режимні та конструктивні параметри вимірювальних камер та електромеханічного пристрою для оцінювання витрати дрібнофракційних компонентів кормосумішей в безперервному потоці.

**Практичне значення одержаних результатів** складається в розробці електромеханічного пристрою контролю витрати для комплексу електрообладнання системи дозування дрібнофракційних компонентів кормосумішей, впровадження якого забезпечує точність дозування відповідно до зоотехнічних вимог, що призводить до зниження собівартості, а також до підвищення якості кормосумішей, що готуються. Обгрунтовані та визначені конструктивні параметри, розроблені конструкції електромеханічних перетворювачів і вимірювальних камер, виготовлені дослідні зразки.

За результатами досліджень розроблена проектно-конструкторська документація на електромеханічний пристрій контролю витрати, виготовлений його дослідний зразок, який впроваджений і пройшов виробничі випробування в колективному сільськогосподарському підприємстві (КСП) “Приазовський комбикормовий завод “ (Запорізька обл.) і в сільськогосподарському виробничому кооперативі (СВК) ім. Ватутіна (Василівський р-н, Запорізька обл.), що підтверджується актами впровадження.

Новизна розробленого способу контролю витрати комбикорму підтверджена позитивним рішенням про видачу патенту на винахід (Російська Федерація) по заявці № 5044817/28/026284.

**Особистий внесок здобувача.** Теоретично та експериментально встановлений взаємозв'язок коефіцієнта поглинання пружних хвиль з витратою та фізико-механічними властивостями борошна ячмінного кормового, висівок пшеничних, борошна м'ясокісткового. Обгрунтовані та визначені параметри, а також розроблені конструкції електромеханічних перетворювачів і вимірювальних камер. Розроблені структурна та принципові схеми блоків і вузлів електромеханічного пристрою контролю витрати дрібнофракційних компонентів кормосумішей.

Загальна частка участі в роботах опублікованих у співавторстві складає до 80%, а в отриманому позитивному рішенні на видачу патенту - 40%.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення і результати дисертаційної роботи заслухані й обговорені на науково-технічній конференції “Моделювання і автоматизація технологічних процесів сільськогосподарського виробництва“(м. Москва, МПСВ ім. В.П. Горячкіна, 1991р.), науково-технічних

конференціях професорсько-викладацького складу, аспірантів і співробітників ТДАТА (м. Мелітополь, 1991-2000 р.), на першій міжнародній науково-технічній конференції “Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки” (м. Кіровоград, КІСМ, 1997р.), на шостій міжнародній науково-технічній конференції “Проблеми сучасної електротехніки - 2000” (м. Київ, інститут Електродинаміки НАН України, 2000 р.).

**Публікації.** Основні положення і результати дисертаційної роботи опубліковані в 9 статтях, тезах доповіді на науково-технічній конференції, рішенні про видачу патенту на винахід по заявці № 5044817/28/026284 (Російська Федерація), а також публікації в офіційному бюлетені по заявці на винахід № 99021023 (Україна).

**Структура та обсяг роботи.** Дисертація складається із вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Об'єм роботи складає 210 сторінок машинописного тексту, на 167 з них викладений текст роботи і список використаних джерел, на 43 - додатки. Дисертація містить 42 таблиці та 50 рисунків. Усього використаних джерел - 129 найменувань, з яких 8 зарубіжних.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність дисертаційної роботи, розкритий стан наукової задачі та її значення, сформульовані мета і задачі дослідження, основні положення, що складають наукову новизну і практичне значення роботи.

У першому розділі “**Стан питання і задачі дослідження**” розглянуті способи і технічні засоби дозування дрібнофракційних компонентів, які використовуються в технологічних лініях приготування кормосумішей, проведений аналіз методів і технічних засобів контролю витрати сипучих матеріалів, сформульовані вимоги до розроблюваного методу і проведені попередні експериментальні дослідження з метою вибору інформативного параметра, який може бути використаний для оцінювання витрати дрібнофракційних компонентів кормосумішей.

З аналізу літературних джерел встановлено, що технологічні лінії сільськогосподарського призначення комплектуються головним чином пристроями, які частіше за все, не задовольняють зоотехнічним вимогам до точності дозування, яка сильно залежить від фізико-механічних властивостей кормів. В даний час у технологічних лініях дозування кормових матеріалів застосовуються технічні засоби контролю витрати, в яких використовують різні методи і принципи побудови. Аналіз робіт, присвячених питанням розробки методів і пристроїв контролю витрати сипучих матеріалів, дозволив узагальнити результати виробничого досвіду, дані науково-дослідних інститутів і вищих навчальних закладів і класифікувати методи контролю витрати сипучих матеріалів.

Питанням створення нових методів і технічних засобів контролю витрати сипучих матеріалів присвячена велика кількість наукових праць, найбільш важливими з яких є роботи Н.І. Луткіна, І.І. Мартиненка, М.О. Корчемного, В.С. Федорейка, Н.І. Беднова.

З аналізу літературних джерел встановлено, що контроль витрати матеріалів, і зокрема, дрібнофракційних компонентів кормосумішей, може проводитися багатьма методами, які характеризуються певними перевагами і недоліками. Так, механічні методи - інерційні, з електричних, деякі мають обмежену область застосування, складність у технічному виконанні, деякі економічно недоцільні. Аналіз існуючих у даний час технічних засобів показав, що вони не повною мірою відповідають висунутим до них вимогам, не забезпечують необхідної точності і потребують поліпшення.

З огляду на потреби практики і матеріалу аналізу стану питання, сформульовані вимоги до методу контролю витрати дрібнофракційних компонентів кормосумішей у технологічному потоці, а саме: 1) забезпечення безперервного неконтактного контролю витрати при здійснюванні технологічного процесу; 2) економічна доцільність, простота в технічному і технологічному виконанні; 3) забезпечення контролю витрати в широкому діапазоні продуктивності дозатора; 4) можливість автоматизації і роботи в потокових технологічних лініях; 5) відсутність негативного впливу на якість кормів; 6) безпека для персоналу.

З огляду методів і в результаті проведення попередніх експериментальних досліджень обґрунтовані перспективність та інформативність методу контролю витрати дрібнофракційних компонентів кормосумішей, заснованого на поглинанні енергії пружних хвиль потоком контрольованого матеріалу. Встановлено, що коефіцієнт поглинання пружних хвиль є відображенням взаємозв'язку при зміні витрати і фізико-механічних властивостей різноманітних кормів. Також встановлено, що для досліджуваних компонентів коефіцієнт поглинання найбільш чутливий до кількості матеріалу в потоці (тобто до витрати кормів) при вимірюваннях на частоті  $88 \pm 0,25$  кГц. Вище зазначений метод, у порівнянні з іншими, найбільш повно відповідає вимогам, висунутим до нього і тому прийнятий для подальших наукових досліджень.

Виходячи з викладеного вище, у роботі сформульовані мета і задачі досліджень.

У другому розділі **“Теоретичне дослідження процесу трансформації зонduючого сигналу в потоці дрібнофракційних компонентів кормосумішей”** проведені теоретичні дослідження і розглянуті фізико-механічні властивості кормів, які впливають на процес об'ємного дозування і побудовані фізичні моделі потоків компонентів кормосумішей з метою використання цих даних, як вхідних, при математичному описі процесу трансформації сигналу, що зондує, в потоці дрібнофракційних компонентів.

На підставі аналізу процесу безперервного дозування різноманітних компонентів кормосумішей було встановлено, що на рівномірність видачі і точ-

ність дозування впливають, як конструктивні особливості дозуючих пристроїв, а саме: конструкція робочих органів, розміри випускного отвору, так і фізико-механічні властивості кормів: розмір і форма часток матеріалу, його густина і вологість.

Обраний метод контролю витрати дрібнофракційних компонентів кормосумішей теоретично обґрунтований шляхом встановлення взаємозв'язку коефіцієнта поглинання пружних хвиль з витратою і фізико-механічними властивостями кормів. У даному випадку, падаючий потік матеріалу, що дозується, поданий як дисперсна система, яка складається з дисперсного середовища - повітря і дисперсної фази - елементарних розсіювачів, часток корму, що мають сферичну форму, рівномірно розподілені по об'єму і рухаються з деякою швидкістю. Хвильовий процес, при цьому, супроводжується розсіюванням і поглинанням енергії пружної хвилі, інтенсивність якої при віддаленні від джерела зменшується. Це пояснюється, у даному випадку, наявністю: внутрішнього тертя, або в'язкістю середовища; теплопровідністю середовища, у якому поширюється пружна хвиля та її розсіюванням на частинках корму.

Таким чином, у загальному випадку коефіцієнт поглинання дорівнює сумі трьох складових:

$$\alpha = \alpha_e + \alpha_m + \alpha_p, \quad (1)$$

де  $\alpha_e$  - коефіцієнт поглинання, обумовлений наявністю внутрішнього тертя в повітрі, дБ/м;

$\alpha_m$  - коефіцієнт поглинання, що залежить від теплопровідності повітря, дБ/м;

$\alpha_p$  - коефіцієнт поглинання, обумовлений наявністю в середовищі твердих часток, дБ/м.

В результаті проведених теоретичних досліджень отриманий вираз, який характеризує взаємозв'язок коефіцієнта поглинання пружних хвиль з витратою та фізико-механічними властивостями дрібнофракційних компонентів:

$$\alpha = \left[ \frac{8.68\pi^2 f^2 \eta}{c^3 \rho} \cdot \left( \frac{4}{3} + \frac{\chi - 1}{\chi} K' \right) \right] + \left[ \frac{6\mu}{ca} + \frac{3(2\omega\mu)^{1/2}}{c} + 7.4k^4 a^4 \right] \times \left[ \frac{3.255Q[1 + z(T_i - 20)][1 - q(W_j - 12)]}{a\rho_1 SV} \right], \quad (2)$$

де  $\alpha$  - коефіцієнт поглинання, дБ/м;

$f$  - частота, Гц;

$\eta$  - в'язкість, кг/м·с;

$c$  - швидкість пружної хвилі, м/с;

$\rho$  - густина повітря, кг/м<sup>3</sup>;

$\chi$  - відношення питомих теплоємностей;

$\mu$  - кінематична в'язкість, м<sup>2</sup>/с;

$K'$  - безрозмірна величина, що виражає залежність між коефіцієнтом теплопровідності  $K$  і коефіцієнтом в'язкості  $\eta$ ;



$\omega$  - кругова частота,  $\text{с}^{-1}$ ;

$k$  - хвильове число,  $\text{м}^{-1}$ ;

$Q$  - масова витрата,  $\text{кг/с}$ ;

$a$  - радіус частки,  $\text{м}$ ;

$\rho_1$  - густина речовини частки,  $\text{кг/м}^3$ ;

$S$  - площа перерізу вихідного отвору,  $\text{м}^2$ ;

$V$  - середня швидкість потоку матеріалу,  $\text{м/с}$ ;

$T_i$  - температура,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$z$  - величина, яка характеризує вплив температури на коефіцієнт поглинання,  $1/^{\circ}\text{C}$ ;

$W_J$  - вологість, %;

$q$  - величина, яка характеризує вплив вологості на коефіцієнт поглинання,  $1/\%$ .

За допомогою формули (2) отримані розрахункові залежності коефіцієнта поглинання від витрати борошна ячмінного кормового для різних значень вологості, температури і розмірів часток. Крім того, отримані залежності коефіцієнта поглинання від витрати висівок пшеничних і м'ясокісткового борошна. Коефіцієнт поглинання лінійно зростає при збільшенні витрати різноманітних компонентів.

В результаті теоретичного обґрунтування методу встановлено, що величина коефіцієнта поглинання пружних хвиль у потоці дрібнофракційних компонентів кормосумішей обумовлена присутністю в середовищі часток матеріалу, що дозується, і залежить від його фізико-механічних властивостей: розміру і густини часток корму, його вологості і температури, і може бути використана як інформативне джерело одержання достовірної інформації про їх витрату. Проведені теоретичні дослідження дозволили визначити об'єм і напрямок експериментальних досліджень.

У третьому розділі **“Експериментальні дослідження процесу трансформації зондуємого сигналу в потоці дрібнофракційних компонентів кормосумішей з урахуванням фізико-механічних властивостей”** викладені програма, методика планування і проведення експериментальних досліджень, приведені застосовувані вимірювальні прилади, методика обробки результатів досліджень і їх аналіз.

Експериментальні дослідження процесу трансформації сигналу, що зондує в потоці дрібнофракційних компонентів кормосумішей проводилися на лабораторній установці методом, заснованим на вимірюванні коефіцієнта поглинання пружних хвиль, які розповсюджуються у контрольованому середовищі.

Виділення корисного сигналу без викривлень є необхідною умовою підвищення точності технічних вимірів. Це, насамперед, залежить від конструкції вимірювальної камери і перетворювачів, які входять до її складу. Для проведення експериментальних досліджень була розроблена і виготовлена вимірювальна камера, конструкція якої дозволила істотно зменшити вплив на результати

вимірів хвилеводних ефектів і відбитків від задньої і бокових стінок камери. З метою підвищення ефективності роботи випромінювача, через збільшення частини звукової енергії, що випромінюється їм у визначеному тілесному куті, і приймача, через збільшення відношення корисний сигнал/перешкода на вході, у конструкції вимірювальної камери використовувалися перетворювачі, які характеризуються властивостями спрямованості.

Експериментальні дослідження проводилися на основі багатофакторного експерименту, що дозволило одержати поліноміальну модель, яка описує взаємозв'язок коефіцієнта поглинання з витратою дрібнофракційних компонентів кормосумішей з урахуванням їх фізико-механічних властивостей і оцінити ступінь впливу факторів на функцію відгуку, що досліджувалася. При проведенні експериментальних досліджень прийняті такі рівні і інтервали варіювання факторів: витрата компонента –  $X_1$  змінюється від 0,5 до 2,0 кг/с з інтервалом 0,75 кг/с, середній розмір (радіус) часток –  $X_2$  від  $0,35 \cdot 10^{-3}$  м до  $0,5 \cdot 10^{-3}$  м з інтервалом  $0,075 \cdot 10^{-3}$  м, вологість –  $X_3$  від 6% до 18% з інтервалом 6%, температура –  $X_4$  від 12 °С до 28 °С з інтервалом 8 °С, густина часток –  $X_5$  від 1200 кг/м<sup>3</sup> до 1500 кг/м<sup>3</sup> з інтервалом 150 кг/м<sup>3</sup>.

Математична модель, яка описує залежність коефіцієнта поглинання пружних хвиль від витрати і фізико-механічних властивостей дрібнофракційних компонентів, наведена у вигляді рівняння регресії:

$$Y=24,74+14,59X_1+11,57X_2-3,53X_3+0,98X_4-2,7X_5+6,94X_1X_2-2,12X_1X_3+0,58X_1X_4-1,62X_1X_5-1,68X_2X_3-1,29X_2X_5, \quad (3)$$

де  $Y$ - коефіцієнт поглинання пружних хвиль у потоці компонентів кормосумішей;

$X_1, X_2, X_3, X_4, X_5$ - вхідні фактори: витрата компонента, середній розмір (радіус) часток, вологість, температура, густина часток компонента відповідно.

Результати досліджень та перевірка значущості коефіцієнтів показали, що по ступеню впливу на величину коефіцієнта поглинання пружних хвиль в потоці дрібнофракційних компонентів кормосумішей фактори розподілилися у такому порядку: витрата, розмір часток, вологість, густина часток, температура. Перевірка за критерієм Фішера дозволила зробити висновок, що гіпотеза про адекватність моделі при 5% рівні значущості не відкидається.

Аналіз отриманих експериментальних залежностей коефіцієнта поглинання від витрати борошна ячмінного кормового при фіксованих значеннях вологості (рис.1), при різному ступені подрібнення (рис.2), при фіксованих значеннях температури дозволив зробити висновок, що між коефіцієнтом поглинання та витратою дрібнофракційних компонентів існує жорстка залежність, а залежності коефіцієнта поглинання від витрати корма мають лінійно зростаючий характер.

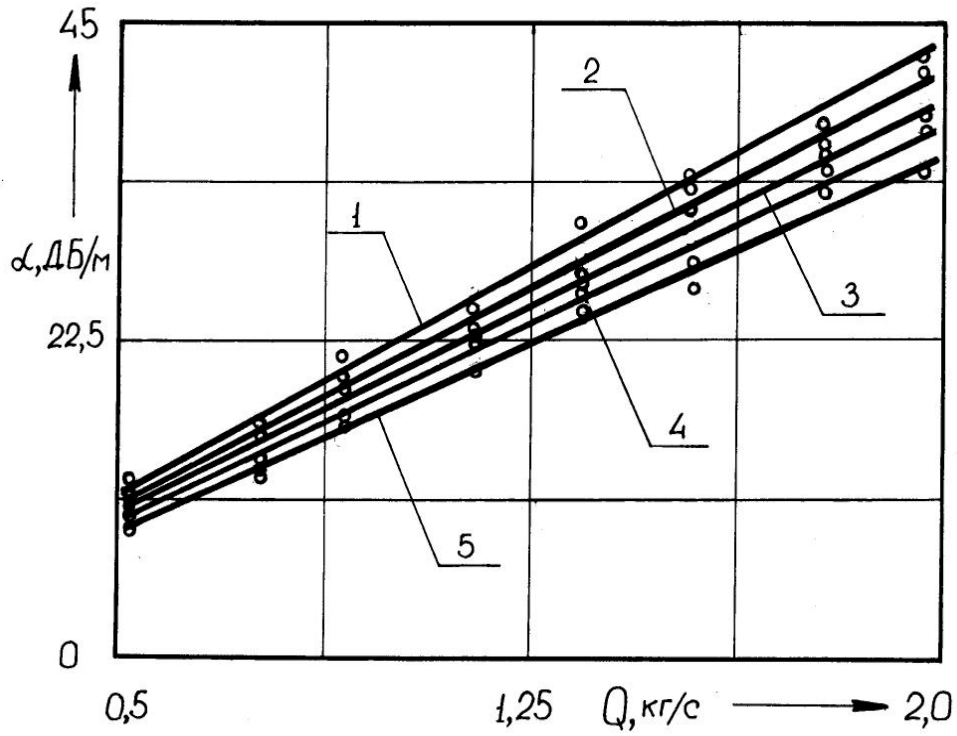


Рис. 1. Залежності коефіцієнта поглинання  $\alpha$  від витрати борошна ячмінного кормового при  $T = \text{const}$ ;  $\rho = \text{const}$ ;  $d_{\text{ср}} = \text{const}$  при вологості: 1 - 8,8%; 2 - 11,3%; 3 - 13,2%; 4 - 15,4%; 5 - 17,1%.

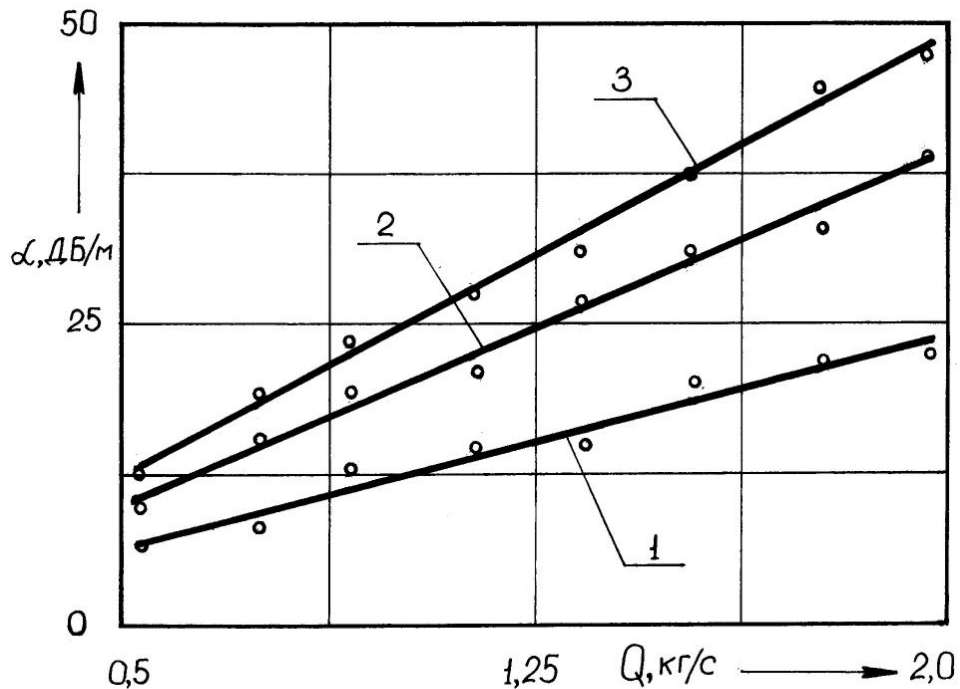
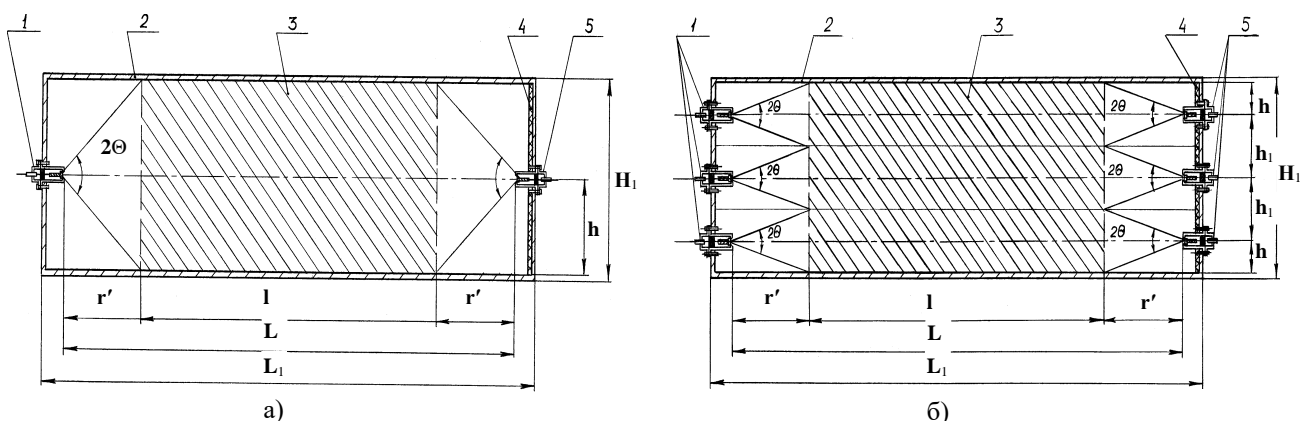


Рис. 2. Залежності коефіцієнта поглинання  $\alpha$  від витрати борошна ячмінного кормового при  $T = \text{const}$ ;  $W = \text{const}$ ;  $\rho = \text{const}$  та при різному ступені подрібнення: 1 - 0,72мм; 2 - 0,85мм; 3 - 0,93мм.

Змінення ступеня подрібнення, температури та вологості корму впливає на коефіцієнт поглинання пружних хвиль, які розповсюджуються в потоці матеріалу, що у подальшому при розробці електромеханічного пристрою потребує використовувати корекцію при зміні даних властивостей дрібнофракційних компонентів. Для оцінки ступеня взаємозв'язку між коефіцієнтом поглинання і витратою дрібнофракційних компонентів з урахуванням їх фізико-механічних властивостей були визначені коефіцієнти кореляції. Отримані результати свідчать про те, що існує тісний взаємозв'язок між коефіцієнтом поглинання і витратою борошна ячмінного кормового при: 1) різній вологості ( $r \in [0,989 \dots 0,993]$ ); 2) різній температурі ( $r \in [0,986 \dots 0,995]$ ); 3) різному ступені подрібнення ( $r \in [0,990 \dots 0,993]$ ).

У четвертому розділі “Розробка електромеханічного пристрою контролю витрати дрібнофракційних компонентів кормосумішей” за результатами теоретичних та експериментальних досліджень були обгрунтовані технічні та технологічні вимоги до електромеханічного пристрою (ЕМП) контролю витрати, обгрунтовані та визначені основні параметри вимірювальних камер при використанні в них однієї або трьох пар плоских поршневих перетворювачів і багатоелементних перетворювачів, розроблені структурна схема і на її основі - схеми електричні принципові блоків та вузлів ЕМП. Вибрані та визначені показники якості роботи пристрою при використанні його в складі електрообладнання системи дозування компонентів кормосумішей.

На підставі технічних та технологічних вимог була розроблена структура і реалізовані конструкції вимірювальних камер із використанням: 1 - однієї пари плоских поршневих перетворювачів (рис.3а); 2 - трьох пар плоских поршневих перетворювачів (рис.3б); 3 - трьох пар багатоелементних перетворювачів (рис.3б).

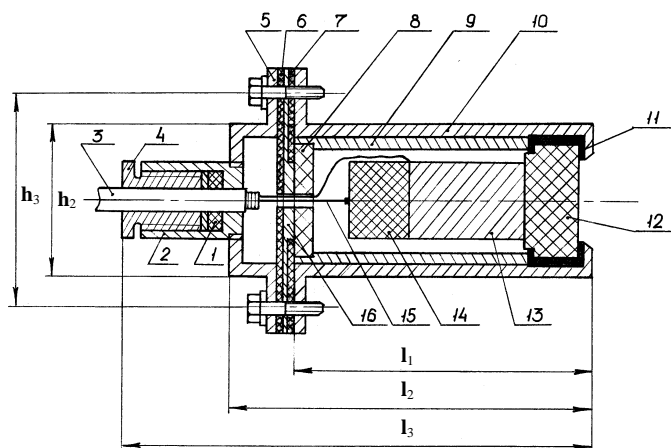


**Рис. 3. Конструкції вимірювальних камер:**

а) при використанні однієї пари перетворювачів;

б) при використанні трьох пар перетворювачів:

1 - випромінюючий перетворювач; 2 - корпус камери; 3 - поперечний переріз потоку матеріалу; 4 - шар із пористої гуми; 5 - приймальний перетворювач.

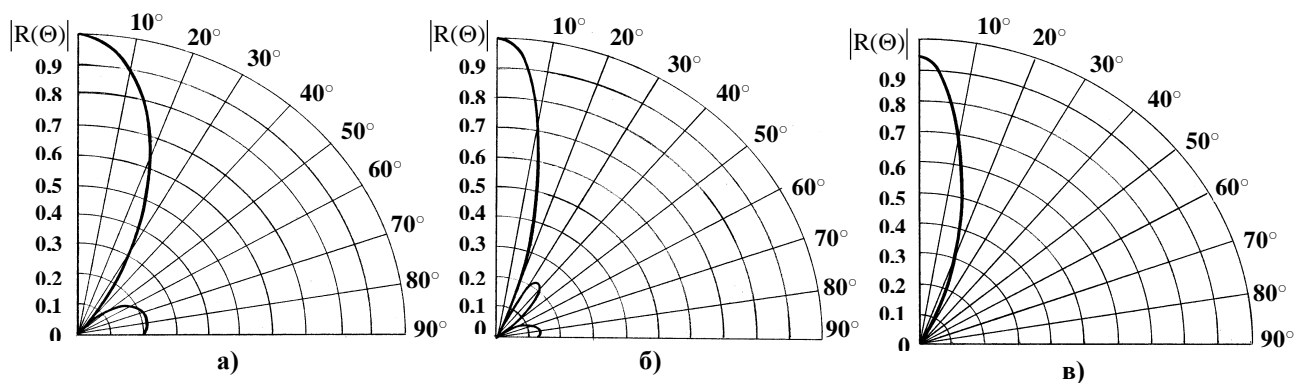


**Рис. 4. Конструкція п'єзоелектричного перетворювача:**

1- гумова шайба; 2- штуцер; 3- кабель; 4 - гайка; 5- кришка; 6,7- розв'язуюча і герметизуюча прокладки; 8- екран; 9- ізолятор; 10- корпус; 11-гумова прокладка; 12- проміжний узгоджувачий шар; 13- накладка; 14 - п'єзоелектричний стержень; 15- монтажні проводи.

Основною частиною вимірювальної камери є електромеханічний перетворювач, конструкція якого приведена на рис.4. При розробці конструкції вимірювальної камери, з метою одержання корисного інформативного сигналу без викривлень, дотримані вимоги по зменшенню впливу на результати вимірів хвилеводних ефектів і відбитків від задньої і бокових стінок камери. З метою підвищення ефективності роботи випромінювача і приймача пружних хвиль застосовані перетворювачі, які характеризуються властивістю спрямованості. Для порівняння різноманітних перетворювачів

були побудовані просторові діаграми спрямованості (рис.5), аналізуючи які можна зробити такі висновки. Діаграма спрямованості перетворювача (рис. 5а) у горизонтальній площині має широкий основний пелюсток з кутом розхилу  $\Theta_0=42^\circ$ , що призвело до зменшення гостроти максимуму, надмірній розбіжності променя і відповідно збільшенню непродуктивного розсіювання звукової енергії в інших напрямках. Проте, при збільшенні гостроти діаграми спрямованості перетворювачів (рис.5б), з'явилися бокові пелюстки, максимум яких складає 22% від головного. Це призвело до зменшення величини звукової енергії, яка випромінюється в необхідному напрямку. З метою зменшення бокових пелюстків і отримання порівняно великої гостроти головного максимуму були застосовані випромінювальні та приймальні системи, які являють собою плоску дискретну лінійну базу, яка складається зі спрямованих перетворювачів.



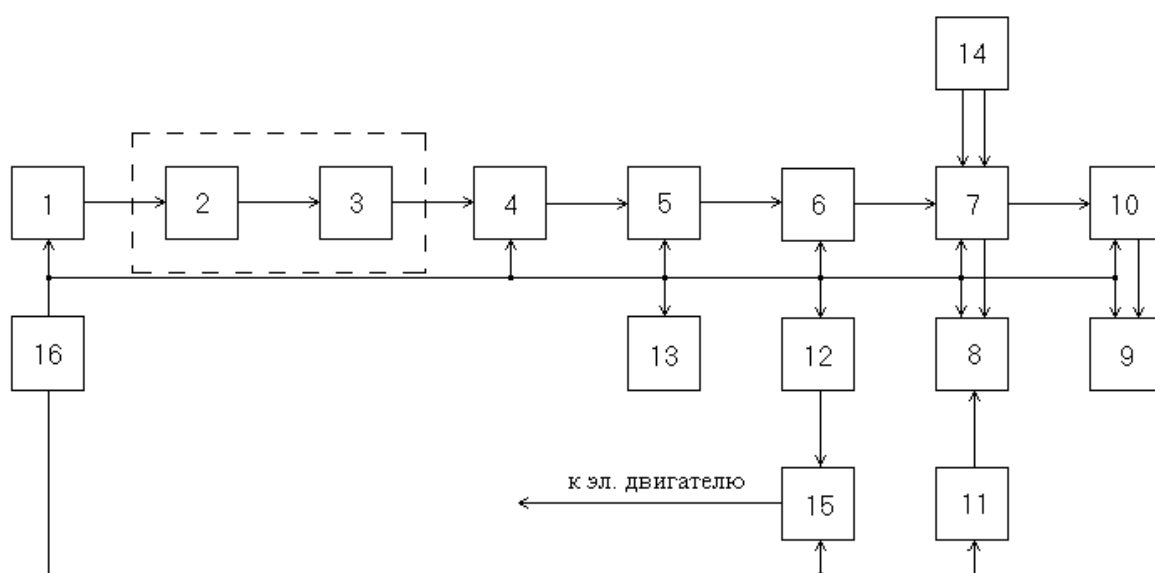
**Рис.5. Діаграми спрямованості перетворювачів у горизонтальній площині:**

- а) плоского поршневого перетворювача (вимірювальна камера 1);
- б) плоского поршневого перетворювача (вимірювальна камера 2);
- в) багатоелементного перетворювача (вимірювальна камера 3).

При такій побудові багатоеlementних перетворювачів до окремих її елементів підводилися напруги з різними амплітудами (співвідношення амплітуд 1:3:3:1), що дозволило значно зменшити розмір бокових максимумів і підвищити, тим самим, гостроту спрямованості бази.

Таким чином, застосування в конструкції вимірювальної камери трьох пар перетворювачів дало можливість знизити потужність випромінювання, підвищити коефіцієнт осьової концентрації, що дозволило зменшити витрату електричної енергії на збуджування перетворювачів. Крім того, застосування такої системи дозволило підвищити чутливість приймального перетворювача і точність вимірювань.

Структурна схема розробленого електромеханічного пристрою контролю витрати компонентів кормосумішей приведена на рис.6.



**Рис.6. Структурна схема електромеханічного пристрою контролю витрати компонентів кормосумішей:**

1- генератор синусоїдальних сигналів; 2- випромінювач; 3- приймальний перетворювач; 4- підсилювальний прилад; 5- блок фільтрації; 6- демодулятор (детектор); 7- блок корекції температури і вологості; 8- блок обчислень; 9- аналого-цифровий перетворювач; 10- блок індикації; 11- часовий блок; 12- пристрій порівнювання; 13- задаючий пристрій; 14- блок вимірювання температури і вологості; 15- блок керування електродвигуном; 16- блок живлення.

Аналіз якості процесу дозування при використанні ЕМП проводився відповідно до існуючих методик.

У п'ятому розділі “**Виробничі випробування та оцінка техніко-економічної ефективності застосування електромеханічного пристрою контролю витрати компонентів кормосумішей**” приведені результати виробничої перевірки ЕМП, визначені показники якості і надійності його роботи в процесі експлуатації, дана оцінка ефективності його використання в технологічній лінії дозування дрібнофракційних компонентів кормосумішей.

Виробничі випробування ЕМП в складі електрообладнання технологічної лінії дозування проводилися в колективному сільськогосподарському підприємстві (КСП) “Приазовський комбикормовий завод” (Запорізька обл.) і в сільськогосподарському виробничому кооперативі (СВК) ім. Ватутіна (Василівський р-н, Запорізька обл.) і показали, що застосування в ЕМП вимірювальної камери з трьома парами перетворювачів дозволило забезпечити точність до 97% від заданої. Це відповідає зоотехнічним вимогам до технологічного процесу дозування дрібнофракційних компонентів кормосумішей. Всі елементи блоків пристрою працювали надійно, відмов не було. Ймовірність безвідмовної роботи електромеханічного пристрою при  $t = 1000$  годин склала  $P(t) = 0,875$ , а середній час безвідмовної роботи пристрою складає 7457 годин.

Річний економічний ефект від застосування електромеханічного пристрою контролю витрати в складі електрообладнання технологічної лінії дозування компонентів кормосумішей складає більш ніж 15900 гривень при обсязі контрольованої продукції (висівок пшеничних) 1275 тонн у рік, а термін окупності капітальних витрат дорівнює 0,1 роки.

## ВИСНОВКИ

Результати проведених досліджень, реалізація електромеханічного пристрою контролю витрати компонентів кормосумішей і результати виробничої перевірки ЕМП у складі електрообладнання технологічної лінії дозування дозволили зробити такі висновки:

1. На підставі аналізу методів та технічних засобів контролю витрати сипучих матеріалів встановлено, що вони мають недоліки (інерційність, складність і висока похибка вимірювань, використання контактних методів, висока вартість обладнання та інші), які заважають їх широкому використанню. Проведеними дослідженнями встановлено, що одним із перспективних методів контролю витрати дрібнофракційних компонентів кормосумішей є метод, заснований на поглинанні енергії пружних хвиль потоком контрольованого матеріалу.
2. Для оцінювання витрати дрібнофракційних компонентів кормосумішей теоретично обґрунтований взаємозв'язок коефіцієнта поглинання пружних хвиль з витратою та фізико-механічними властивостями кормів (розміром, густиною часток корму, вологістю та температурой) і встановлено, що залежності коефіцієнта поглинання від витрати різних компонентів мають лінійно зростаючий характер. При зміні витрати в межах 0,5...2,0 кг/с розрахункові значення коефіцієнта поглинання пружних хвиль в потоці дрібнофракційних компонентів кормосумішей при вологості та температурі в діапазоні 6...18% і 12...28° С, середньозваженому діаметрі часток 0,7...1,0 мм, з урахуванням густини знаходяться в межах 5,25...65,18 дБ/м.

3. Експериментальні дослідження взаємозв'язку коефіцієнта поглинання пружних хвиль з витратою дрібнофракційних компонентів кормосумішей підтвердили теоретичні дослідження і дозволили встановити, що при зміні витрати ( $Q$ ) борошна ячмінного кормового в межах 0,52...1,97 кг/с, вологості ( $W$ ) та температури ( $T$ ) в діапазоні 8,8...17,1% і 12...28<sup>0</sup>С, середньозваженому діаметрі часток ( $d_{cp}$ ) 0,72...0,93 мм і густині ( $\rho$ ) 1304 кг/м<sup>3</sup> значення коефіцієнта поглинання ( $\alpha$ ) знаходяться в межах 6,35...48,60 дБ/м; для висівок пшеничних: при  $Q = 0,53...1,94$  кг/с,  $W = 7,9...17,8\%$ ,  $T = 12...28^0\text{C}$ ,  $d_{cp} = 0,75...0,98$  мм і  $\rho = 1226$  кг/м<sup>3</sup> значення  $\alpha$  знаходяться в межах 7,60...56,23 дБ/м; для борошна м'ясокісткового: при  $Q = 0,55...1,98$  кг/с,  $W = 6,2...15,7\%$ ,  $T = 12...28^0\text{C}$ ,  $d_{cp} = 0,7...0,96$  мм і  $\rho = 1487$  кг/м<sup>3</sup> значення  $\alpha$  знаходяться в межах 6,03...50,96 дБ/м.

4. За результатами теоретичних та експериментальних досліджень встановлено, що інформативним параметром про значення витрати дрібнофракційних компонентів кормосумішей є коефіцієнт поглинання пружних хвиль в потоці корму. Це дозволило на основі використання вищевказаного показника електроакустичних властивостей дрібнофракційних компонентів обґрунтувати метод контролю витрати, заснований на вимірюванні коефіцієнта поглинання безперервних пружних коливань, які розповсюджуються в потоці матеріалу, що дозується.

5. Експериментальні дослідження виявили високий ступінь взаємозв'язку між коефіцієнтом поглинання пружних хвиль і витратою компонентів кормосумішей з урахуванням їх фізико-механічних властивостей, що підтверджується коефіцієнтами кореляції ( $r \in [0.985...0.995]$ ).

6. Теоретично обґрунтовані та експериментально визначені режимні та конструктивні параметри для запропонованих конструкцій вимірювальних камер і електромеханічного пристрою контролю витрати: частота 88,0 кГц, потужність випромінювання 0,30...0,78 Вт, інтенсивність 0,12...0,71 Вт/см<sup>2</sup>, чутливість приймального перетворювача 25,0...39,1 мВ/Па, вимірювальна база 1,1м.

7. Розроблений електромеханічний пристрій (ЕМП) контролю витрати дозволяє за значеннями коефіцієнта поглинання пружних хвиль, з урахуванням автоматичного введення поправки на температуру і вологість корму, введення поправки на вид і ступінь подрібнення матеріалу, що дозується, визначати витрату дрібнофракційних компонентів кормосумішей в безперервному потоці. Розроблений пристрій дозволяє отримувати на його виході кінцеву інформацію про значення витрати у вигляді напруги  $U_{ynp} = 0...6$  В, що дає можливість використовувати ЕМП в складі електрообладнання для системи дозування технологічних ліній приготування кормових сумішей.

8. Дослідження та виробничі випробування електромеханічного пристрою в складі електрообладнання технологічної лінії дозування в КСП "Приазовський комбикормовий завод" (Запорізька обл.) і в СВК ім. Ватутіна (Василівський р-н, Запорізька обл.) показали, що точність дозування дрібнофракційних компонен-



тів кормосумішей при використанні в ЕМП вимірювальної камери: з однією парою плоских поршневих перетворювачів склала 3,1...3,6%; з трьома парами плоских поршневих перетворювачів – 2,7...3,0%; з трьома парами багатоелементних перетворювачів – 2,4...2,8%. Таким чином, застосування в ЕМП вимірювальної камери з трьома парами перетворювачів дозволило забезпечити точність до 97 % від заданої, що відповідає зоотехнічним вимогам до технологічного процесу дозування вищеназваних компонентів кормосумішей.

9. Техніко-економічні розрахунки показали, що річний економічний ефект від застосування електромеханічного пристрою в складі електрообладнання технологічної лінії дозування компонентів кормосумішей складає більш ніж 15900 грн. при обсязі контрольованої продукції (висівок пшеничних) 1275 тонн у рік, термін окупності капітальних витрат дорівнює 0,1 роки.

### СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Яковлев В.Ф., Квитка С.А., Армаш И.М. Ультразвуковой метод контроля массы компонентов кормосмесей в потоке.//Моделирование и автоматизация технологических процессов сельскохозяйственного производства: Сборник научных трудов МИИСП.– Москва, 1991.–С. 94-97. (Доля здобувача –50%, розробив основні положення, провів експериментальні дослідження).
2. Яковлев В.Ф., Армаш И.М., Квитка С.А. Электронно-акустическая система дозирования компонентов кормосмесей в потоке.//Перспективные НИОКР по проблемам совершенствования техники и технологии в сельскохозяйственном производстве.– К.: УкрИНТЭИ, 1992.– С. 18-19. (Доля здобувача – 60%, розробив основні положення).
3. Квитка С.А., Яковлев В.Ф. Федюшко Ю.М. К вопросу об акустической системе дозирования компонентов кормосмесей в потоке.// Сборник трудов ТГАТА.– Мелитополь, 1996.– С. 11-12. (Доля здобувача – 60%, розробив основні положення).
4. Федюшко Ю.М., Яковлев В.Ф., Квитка С.А. Блок управления приводом дозатора акустической системы контроля расхода кормосмесей.// Сборник трудов ТГАТА.– Мелитополь, 1996.– С. 12-13. (Доля здобувача – 50%, розробив та обгрунтував структурну схему блоку керування приводом дозатора).
5. Федюшко Ю.М., Квитка С.А. Контроль производительности и расхода ультразвуковым методом.// Техника в сельскохозяйственном производстве: Труды / ТГАТА.– Вып.1, Т.3.- Мелитополь: ТГАТА, 1997.– С. 52-55. (Доля здобувача – 50%, розробив основні положення).
6. Квитка С.А., Федюшко Ю.М. Исследование акустической системы дозирования комбикормов в потоке при различных режимах работы.// Техника в сельскохозяйственном производстве: Труды / ТГАТА.– Вып.1, Т.3.- Мелитополь:

- ТГАТА, 1997.– С. 56-58. (Доля здобувача – 55%, провів та одержав результати експериментальних досліджень).
7. Квітка С.О. Розробка та розрахунок п'єзоелектричних перетворювачів електроакустичної системи дозування.// Труды ТГАТА, Вып.1, Т.8.- Мелітополь: ТГАТА, 1998.– С. 94-99.
  8. Квітка С.О. Обґрунтування конструктивних параметрів вимірювальної камери електроакустичної системи контролю дозування компонентів кормосумішей.// Праці / Таврійська державна агротехнічна академія – Вип.1, Т.11.– Мелітополь: ТДАТА, 1999.– С. 72-75.
  9. Яковлев В.Ф., Квитка С.А. Сравнительный анализ конструкций акустических измерительных камер технологического процесса дозирования компонентов кормосмесей.// Технічна електродинаміка: Тематичний випуск / Інститут електродинаміки НАН України – Ч.5.– К., 2000.– С. 92-95. (Доля здобувача – 70%, обґрунтував та розробив конструкції вимірювальних камер і п'єзоелектричних перетворювачів).
  10. Квітка С.О., Гончарова Д.М. Узагальнення результатів експериментальних досліджень вимірювання витрати компонентів кормосумішей з використанням ультразвуку.// Праці / Таврійська державна агротехнічна академія – Вип.1, Т.16.– Мелітополь: ТДАТА, 2000.– С. 82-87. (Доля здобувача – 80%, отримав і опрацював експериментальні дані).
  11. Ультразвуковой способ измерения количества комбикорма в потоке: Российская Федерация, МКИ<sup>6</sup> G01F1/66/В.Ф. Яковлев, С.А. Квитка, И.М. Армаш. - № 5044817/28/026284; Заявлено 01.06.92; Решение ВНИИГПЭ от 23.05.95 о выдаче патента на изобретение. (Доля здобувача - 40%, провів експериментальні дослідження).
  12. Пристрій для вимірювання витрати компонентів кормосумішей: Україна, МКИ<sup>6</sup> G01F1/66/В.Ф. Яковлев, С.О. Квітка.- № 99021023; Заявлено 23.02.99; Опубл. 15.09.00, Бюл. № 4-1.- С.2.44. (Доля здобувача – 50%, розробив основні положення, обґрунтував та розробив структурну схему пристрою).

## АНОТАЦІЯ

Квітка С. О. Електромеханічний пристрій для системи електрообладнання дозування компонентів кормосумішей в кормоцехах тваринницьких ферм. – Рукопис.

Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.09.16 – Застосування електротехнологій у сільськогосподарському виробництві. – Таврійська державна агротехнічна академія, Мелітополь, 2001.

Містить результати теоретичних та експериментальних досліджень взаємозв'язку між коефіцієнтом поглинання пружних хвиль та витратою дрібно-

фракційних компонентів кормосумішей, враховуючи гранулометричний склад, вологість, температуру. За результатами досліджень розроблений метод контролю витрати компонентів кормосумішей в безперервному потоці, оснований на поглинанні енергії пружних хвиль потоком контрольованого матеріалу. Здійснена технічна реалізація розробленого методу в електромеханічному пристрої та його впровадження у виробництво. Приводяться дані про ефективність пристрою при його експлуатації.

*Ключові слова:* витрата дрібнофракційних компонентів кормосумішей, коефіцієнт поглинання пружних хвиль, вимірювальна камера, електромеханічний пристрій контролю дозування.

## АННОТАЦІЯ

Квитка С. А. Электромеханическое устройство для системы электрооборудования дозирования компонентов кормосмесей в кормоцехах животноводческих ферм. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.16 – Применение электротехнологий в сельскохозяйственном производстве. – Таврическая государственная агротехническая академия, Мелитополь, 2001.

Обоснована актуальность работы, состояние вопроса, цель и задачи исследований. Анализ исследовательских работ, посвященных разработке методов и устройств контроля расхода сыпучих материалов, позволил обобщить и классифицировать методы, а также сформулировать требования к методу контроля расхода компонентов кормосмесей.

Для оценки расхода компонентов кормосмесей путем определения коэффициента поглощения упругих волн теоретически обоснована взаимосвязь между коэффициентом поглощения и расходом с учетом физико-механических свойств кормов – размера, плотности частиц корма, влажности и температуры.

Экспериментальные исследования взаимосвязи коэффициента поглощения упругих волн с расходом муки ячменной кормовой позволили установить, что при изменении расхода в пределах 0,52...1,97 кг/с, влажности и температуры в диапазоне 8,8...17,1% и 12...28°C, средневзвешенном диаметре частиц 0,72...0,93 мм и плотности 1304 кг/м<sup>3</sup> значения коэффициента поглощения находятся в пределах 6,35...48,60 дБ/м.

По результатам теоретического анализа и экспериментальных исследований установлено, что информативным параметром о значении расхода мелкофракционных компонентов кормосмесей является коэффициент поглощения упругих волн в потоке корма. Это позволило на основании использования вышеуказанного показателя электроакустических свойств различных compone-

нтов обосновать метод контроля расхода, основанный на поглощении энергии непрерывных упругих колебаний, распространяющихся в потоке контролируемого материала. Техническая реализация данного метода осуществлена в электромеханическом устройстве (ЭМУ), к которому обоснованы технические требования. Теоретически обоснованы и экспериментально определены режимные и конструктивные параметры для предложенных конструкций измерительных камер и электромеханического устройства контроля расхода: частота 88,0 кГц; мощность излучения 0,30...0,78 Вт; интенсивность 0,12...0,71 Вт/см<sup>2</sup>; чувствительность приемного преобразователя 25,0...39,1 мВ/Па; измерительная база 1,1 м. Разработана структурная схема устройства и на ее основе – схемы электрические принципиальные блоков и узлов ЭМУ. Применение измерительной камеры, в конструкции которой используются три пары излучающих и приемных преобразователей, позволило повысить точность измерений расхода. Разработанное электромеханическое устройство для комплекта электрооборудования системы дозирования позволяет по значениям коэффициента поглощения, с учетом автоматически вводимой поправки на влажность корма и температуру, вводимой поправки на вид и степень измельчения дозируемого материала, определять расход мелкофракционных компонентов кормосмесей и поддерживать его заданное значение.

Исследования и производственные испытания устройства в составе электрооборудования технологической линии дозирования в коллективном сельскохозяйственном предприятии “ Приазовский комбикормовый завод” (Запорожская обл.) и в сельскохозяйственном производственном кооперативе им. Ватутина (Васильевский р-н, Запорожская обл.) показали, что использование ЭМУ с измерительной камерой с тремя парами преобразователей позволило обеспечить точность до 97% от заданной, что отвечает зоотехническим требованиям к процессу дозирования мелкофракционных компонентов кормосмесей.

*Ключевые слова:* расход мелкофракционных компонентов кормосмесей, коэффициент поглощения упругих волн, измерительная камера, электромеханическое устройство контроля дозирования.

## SUMMARY

Kvitka S. A. The electromechanical device for an electric equipment system of feed mixtures components dosage in feed preparing premises of cattle-breeding farms. – Manuscript.

Thesis for a candidate of technical science degree in speciality 05.09.16 - application of electrotechnology in agricultural manufacture. - Tavria state agritechnical academy, Melitopol, 2001.

This thesis contains theoretical and experimental research results of interrelation between absorption factor of elastic waves and consumption of the feed mixtures fine-fractional components, taking into account harmonic composition, humidity, temperature. The method of feed mixtures components consumption monitoring in a continuous flow grounded on an absorption of elastic waves energy in a flow of inspected material is designed as a result of researches. The technical realization of the developed method in the electromechanical device and its introduction in manufacture were carried out. The data on efficiency of the device that was resulted at its maintenance is given.

*Key words:* the consumption of the feed mixtures fine-fractional components, elastic waves absorption factor, measuring chamber, electromechanical device of the dosage control.

Підп. до друку 28. 11. 2001р. Формат 60×90/16

Обсяг 0,9 авт. арк. Тираж 100 прим. Зам. №164

---

Надруковано в типографії Таврійської державної агротехнічної академії  
72312, Запорізька обл., м. Мелітополь, пр. Б.Хмельницького, 18.