

ТАВРІЙСЬКА ДЕРЖАВНА АГРОТЕХНІЧНА АКАДЕМІЯ

ГОНЧАРОВА ДІНА МИКОЛАЇВНА



УДК 637.12.128:681.88

**ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРОФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МОЛОКА
ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ВМІСТУ ЖИРУ ТА БІЛКА ПРИ ПЕРВИННІЙ
ОБРОБЦІ МОЛОКА НА ТВАРИННИЦЬКИХ ФЕРМАХ І
КОМПЛЕКСАХ**

05.20.02 - Застосування електротехнологій у сільськогосподарському
виробництві

Автореферат дисертації на
здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Мелітополь-1999

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі електротехнології Таврійської державної агротехнічної академії (ТДАТА) Міністерства агропромислового комплексу України.

Науковий керівник: кандидат технічних наук,
Яковлев Валерій Федорович,
Таврійська державна агротехнічна академія,
доцент кафедри електротехнології

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор,
Савченко Петро Ілліч,
Харківський державний технічний університет сільсько-
го господарства, завідувач кафедри застосування елек-
троенергії в сільському господарстві

кандидат технічних наук, доцент
Грищенко Олександр Кузьмич,
Таврійська державна агротехнічна академія,
доцент кафедри теоретичної та загальної електротехніки

Провідна установа: Національний аграрний університет
Кабінету Міністрів України, м.Київ

Захист відбудеться "25" травня 1999 р о 10⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К18.819.01 в Таврійській державній агротехнічній академії за адресою:

332315 Запорізька область, м.Мелітополь, пр.Б.Хмельницького, 18, аудиторія 7.210.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Таврійської державної агротехнічної академії за адресою:

332312 Запорізька область, м.Мелітополь, пр.Б.Хмельницького, 18, бібліотека ТДАТА.

Автореферат розісланий "22" квітня 1999 р.

Вчений секретар спеціалізованої вченої ради



Черкун В.Ю.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. В сучасних економічних умовах фермерські або тваринницькі господарства, які виробляють молоко, а також підприємства, які його перероблюють, повинні контролювати склад та якість сировини та готової продукції. Виробництво молока вимагає особливої уваги до питань хімічного складу молока, як продукту з високими харчувальними та дієтичними властивостями, і сировини для різних галузей молочної промисловості. Це в першу чергу стосується таких ціноутворюючих показників, як масова частина жиру та білка. Вміст жиру та білка в молоці враховується при оплаті як за сировину, так і за готовий продукт молочної промисловості, тому необхідно визначати вміст жиру та білка в молоці з високим ступенем точності. Як показує практика, визначення вмісту жиру та білка в молоці здійснюється методами, які мають ряд недоліків, а саме: висока трудомісткість та велика тривалість одного вимірювання, потреба в значній кількості хімічних реактивів та підвищені вимоги до їх чистоти, складність процесу вимірювання, а також висока вартість обладнання, що заважає його широкому впровадженню.

Цим пояснюється розвиток наукових досліджень, мета яких – розробка нових, простих та експресних методів на основі використання показників електрофізичних властивостей молока для визначення вмісту жиру та білка. Тому використання електрофізичних властивостей молока, які мають тісний взаємозв'язок з показниками якості, з метою обґрунтування та технічної реалізації методу визначення жиру та білка при первинній обробці молока на тваринницьких фермах і комплексах є актуальними задачами.

Зв'язок роботи з науковими програмами та темами. Робота виконана по комплексній темі №2 програми НДР Таврійської державної агротехнічної академії (ТДАТА) (номер реєстрації 01920006293) на 1990-1995 р.р., згідно з планом НДР ТДАТА на 1996-2000 р.р., програми №9 «Розробка ультразвукової технології та обладнання експрес-контролю якості сільськогосподарської продукції»; пункт 9.3 «Розробка методу та електроакустичного пристрою експрес-аналізу вмісту жиру та білка в молоці».

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є обґрунтування та технічна реалізація методу визначення вмісту жиру та білка в молоці на основі використання електрофізичних властивостей молока. Для досягнення поставленої мети вирішувались такі задачі:

1. Вибір та обґрунтування методу визначення вмісту жиру та білка в молоці.
2. Фізико-математичне обґрунтування взаємозв'язку між швидкістю ультразвука в молоці та фізико-хімічними властивостями молока.
3. Експериментальні дослідження взаємозв'язку між швидкістю ультразвука в молоці та вмістом у ньому жиру та білка.
4. Розробка, дослідження та випробування електроакустичного пристрою для визначення вмісту жиру та білка в молоці у виробничих умовах та його техніко-економічна оцінка.

Наукова новизна одержаних результатів.

1. Розроблена класифікація методів визначення вмісту жиру та білка в молоці.
2. Теоретично обґрунтований кількісний взаємозв'язок між швидкістю ультразвука в молоці та його фізико-хімічними властивостями. За результата-

ми теоретичних та експериментальних досліджень обґрунтований імпульсний електроакустичний метод визначення вмісту жиру та білка в молоці.

3. Вперше одержані номографічні залежності, які дозволяють визначати величини концентрацій жиру та білка в молоці.

4. Обґрунтовані структура та параметри електроакустичного пристрою для визначення вмісту жиру та білка в молоці.

Новизна розробленого методу та пристрою підтверджена патентами України №23978А та №24450А відповідно.

Практичне значення одержаних результатів полягає в практичній реалізації методу в електроакустичному пристрої для визначення вмісту жиру та білка в молоці, впровадження якого знижує витрати часу та праці на визначення якісних показників молока, що, в свою чергу, призводить до зниження собівартості молочної продукції. Обґрунтовані конструктивні параметри вимірювальної камери та виготовлені дослідні зразки. В конструкції вимірювальної камери реалізований принцип «акустичний лабіринт», що дозволило суттєво підвищити точність вимірювання (патент України №24450А). Дослідний зразок електроакустичного пристрою впроваджений та пройшов виробничі випробування на орендному підприємстві «Садовод» (м.Севастополь, Республіка Крим) та в колективному сільськогосподарському підприємстві імені Фрунзе (Новоодеський район, Миколаївська область), які підтверджуються актами впровадження.

Особистий внесок автора:

1. Розроблена класифікація методів визначення вмісту жиру та білка в молоці.
2. Отримані аналітичні та номографічні залежності, які описують кількісний взаємозв'язок між швидкістю ультразвука в молоці та фізико-хімічними властивостями молока.
3. Проведені експериментальні дослідження залежностей між швидкістю ультразвука в молоці і концентраціями жиру, білка та сухого знежиреного молочного залишку при фіксованих значеннях температури і густини молока.
4. Розроблені структурна, функціональна схеми ЕАП та принципові схеми блоків та вузлів електроакустичного пристрою.
5. Здійснена математична формалізація процесу трансформації вхідного сигналу в цифрову інформацію про вміст жиру та білка в молоці на виході пристрою.

Загальна частка участі в опублікованих у співавторстві роботах складає 50%...70%, в патенті – 35%.

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати дисертаційної роботи були заслухані і обговорені на міжнародних науково-технічних конференціях: «Ультразвукова техніка і технологія» (м.Мінськ, БАТУ, 1995р.), «Автоматизація і комп'ютеризація в сільському господарстві» (м.Москва, МДАУ ім.В.П.Горячкіна, 1995р.), Науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів і студентів (м.Мелітополь, ТДАТА, 1996р.), «Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки» (м.Кіровоград, КІСМ, 1997р.), «Прикладна геометрія та інженерна графіка» (м.Мелітополь, ТДАТА, 1997р.), Науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів і студентів (м.Мелітополь, ТДАТА, 1998, 1999 рр.)

Публікації. За результатами досліджень опубліковано 8 статей, 1 теза та одержано 2 патенти України.

Обсяг і структура роботи. Дисертаційна робота складається з вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел, який нараховує 99 найменувань, з яких 1 на іноземній мові, та додатків. Загальний обсяг роботи 207 сторінок, на 146, з яких викладений текст роботи, на 61 – список використаних джерел і додатки. Текст роботи вміщує 17 таблиць, 27 ілюстрацій.

ЗМІСТ РОБОТИ

Вступ. Обгрунтована актуальність дисертаційної роботи, стан питань, мета та наукові задачі дослідження.

Розділ 1. «Стан питання та задачі досліджень». З аналізу літературних джерел встановлено, що в молоці в оптимальній кількості знаходяться речовини, які необхідні для розвитку та росту організму людини. Включення молока та молочних продуктів в харчові раціони збільшує їх біологічну цінність та поліпшує засвоюваність. Корисний вплив молока на організм людини забезпечується речовинами, які входять до його складу. Одними з основних показників якості молока є вміст жиру та білка, які характеризують поживні, харчові та технологічні властивості при прийманні, первинній обробці молочної сировини, її переробці та при виробництві готової продукції. Аналіз робіт, які присвячені дослідженню питань розробки методів та пристроїв для визначення вмісту жиру та білка в молоці, дозволив узагальнити результати виробничого досвіду, дані науково-дослідних інститутів та вищих учбових закладів і класифікувати методи визначення вмісту жиру та білка в молоці. З аналізу літературних джерел встановлено, що загальними недоліками методів є складність, тривалість і суб'єктивність процесу визначення, а також необхідність використання хімічних реактивів і значна їх витрата та вплив побічних чинників. Аналіз існуючих в даний час пристроїв показав, що вони не в повній мірі відповідають пред'явленим до них вимогам, не забезпечують необхідну точність визначення і потребують покращення.

Питанням створення нових методів та пристроїв для визначення вмісту жиру та білка в молоці та в молочних продуктах присвячена велика кількість наукових робіт, найважливішими з яких є роботи Л.П.Брусіловського, О.Я.Вайнберга, В.О.Скотнікова, І.Ф.Бородіна, І.І.Мартиненка, М.В.Барабанщикова, Л.В.Андрієвської, С.Л.Бикової, В.Ф.Яковлева. Однак, враховуючи досвід розробок методів та пристроїв контролю якісного складу молока, визначення вмісту жиру та білка є ще далеко не до кінця вирішеним питанням через велику часову тривалість вимірювань, наявність високих похибок та великих витрат ручної праці.

Враховуючи потреби практики та вище наведений матеріал аналізу стану питання, сформульовано вимоги до методу визначення вмісту жиру і білка в молоці, а саме: 1) необхідність забезпечення мінімуму часової тривалості визначення; 2) можливість одночасного визначення двох або більш показників якісного складу молока; 3) простота в технічному і технологічному виконанні; 4) відсутність негативного впливу на якість молока; 5) безпека для персоналу. З огляду електроакустичних методів та в результаті проведення попередніх

експериментальних досліджень обґрунтована перспективність та інформативність імпульсного методу при його технічній реалізації в електроакустичному пристрої для визначення вмісту жиру та білка в молоці, а також встановлено, що показник електроакустичних властивостей молока – швидкість ультразвука, є відображенням взаємозв'язків між змінами кількісного фізико-хімічного складу молока з урахуванням впливу температури. Даний метод, у порівнянні з іншими, найбільш повно відповідає вимогам, які висунуті до методу, тому імпульсний електроакустичний метод прийнятий до подальших досліджень.

Виходячи з викладеного вище, в роботі сформульовані задачі досліджень.

Розділ 2. «Теоретичне та експериментальне обґрунтування методу визначення вмісту жиру та білка в молоці». Метод визначення вмісту жиру та білка в молоці теоретично обґрунтований шляхом встановлення взаємозв'язку між фізико-хімічними властивостями молока та показником його електроакустичних властивостей – швидкістю ультразвука в молоці. З аналізу хімічного складу встановлено, що молоко складається з дисперсійного середовища та дисперсної фази. Основна складова молока – плазма, в якій змулені найдрібніші краплинки молочного жиру і розчинені компоненти сухого знежиреного молочного залишку (СЗМЗ). Ультразвукові хвилі, які розповсюджуються в молоці, здійснюються так швидко, що помітної передачі тепла від одного елементу середовища до іншого не відбувається, і процес йде, підкоряючись адіабатичному закону. В результаті проведення теоретичних досліджень встановлено, що швидкість ультразвука в молоці при постійній температурі є функцією густини і адіабатичної стисливості молока. Через те, що складові частини молока – жир, білок, СЗМЗ – мають різну густину, швидкість ультразвука залежить від масової частини складових компонентів молока. Для оцінки вмісту жиру, загального білка та СЗМЗ в молоці шляхом визначення швидкості ультразвука є можливим теоретично обґрунтувати взаємозв'язок між швидкістю ультразвука в молоці та його фізико-хімічними властивостями – густиною, стисливістю, концентраціями складових частин та температурою.

При математичному описі залежностей концентрацій жиру, сухого знежиреного молочного залишку та загального білка від швидкості ультразвука в молоці брався до уваги той факт, що при температурі 14°C швидкість ультразвука не залежить від концентрацій жиру, а характеризується тільки вмістом СЗМЗ та загального білка. За результатами теоретичного обґрунтування були одержані вирази, які відображають взаємозв'язок між швидкістю ультразвука в молоці при температурі 14°C і концентраціями СЗМЗ та загального білка:

$$K_2 = \frac{1}{a_2} \cdot (C_{0(14)} - C_{3(14)}); \quad (1)$$

$$K_3 = \frac{0,4}{a_2} \cdot (C_{0(14)} - C_{3(14)}), \quad (2)$$

де K_2 , K_3 – концентрація СЗМЗ, загального білка відповідно, %;

$C_{0(14)}$, $C_{3(14)}$ – швидкість ультразвука в молоці та у воді при температурі 14°C, м/с;
 a_2 – коефіцієнт, який характеризує градієнт зміни швидкості ультразвука в молоці при зміні концентрацій СЗМЗ та загального білка на 1% при температурі 14°C, м/(с·%).

Математична залежність між концентраціями жиру в молоці та швидкістю ультразвуку при температурі з діапазону температур 20°C...50°C з урахуванням автоматичної поправки на концентрацію СЗМЗ описується виразом:

$$K_1 = 100\% \cdot \left(\frac{b+d}{2 \cdot b \cdot d} + \frac{1}{2 \cdot b \cdot d} \times \sqrt{(b+d)^2 - 4 \cdot b \cdot d + \frac{4 \cdot b \cdot d \cdot C_{3(20)}^2}{(C_{0i} - a \cdot K_2 - \mu \cdot \Theta_i + 42)^2}} \right) \quad (3)$$

де K_1 – концентрація жиру, %;

C_{0i} – швидкість ультразвуку в молоці при i -й температурі, м/с;

Θ_i – температура молока, °C.

$C_{3(20)}$ – швидкість ультразвуку у воді при температурі 20°C, м/с;

a – коефіцієнт, який характеризує градієнт зміни швидкості ультразвуку при зміні концентрації СЗМЗ на 1% при температурі 20°C, м/(с·%);

μ – температурний градієнт молока, м/(с·°C);

b, d – постійні коефіцієнти, числові величини яких залежать від фізико-хімічних властивостей молока.

Слід відзначити, що температурний діапазон 20°C...50°C складається з температур, які характеризують фізичний стан молочного жиру в молоці. Враховуючи дослідження М.В.Барабанщикова, О.Я.Вайнберга, встановлено, що температура 20°C (точка застигання) характеризує суспензійний стан молочного жиру, при температурі 37°C (точка шавлення) жир переходить з суспензійного стану в емульсійний, а при температурах 43,5°C, 50°C зменшується похибка вимірювань вмісту жиру та СЗМЗ за рахунок усунення перешкод, які пов'язані з твердінням та кристалізацією молочного жиру.

На основі аналітичних виразів (1), (2), (3) розроблена номограма (рис. 1), яка дозволяє визначати концентрації загального білка та СЗМЗ в залежності від швидкості ультразвуку в молоці при температурі 14°C, а також концентрації жиру в залежності від густини молока, концентрації СЗМЗ та швидкості ультразвуку при фіксованих температурах молока 20°C, 37°C, 43,5°C, 50°C. Зразок використання номограми показаний спрямованими відрізками.

За результатами теоретичного обґрунтування імпульсного методу встановлено, що швидкість ультразвуку зумовлена присутністю в молоці та взаємодією його складових компонентів, а отже може бути використана, як інформаційне джерело для одержання вірогідної інформації про кількісний стан дисперсної фази молока, а саме: за значенням швидкості ультразвуку в молоці при температурі 14°C визначається вміст СЗМЗ та загального білка, а за значенням швидкості ультразвуку в молоці при температурі з діапазону температур 20°C...50°C з урахуванням автоматичної поправки на вміст СЗМЗ визначається вміст жиру в молоці. Проведені теоретичні дослідження дозволили визначити обсяг направлення експериментальних досліджень.

Розділ 3. «Експериментальні дослідження вмісту та білка в молоці електроакустичним методом». Експериментальні дослідження проводилися за методикою на створеній експериментальній установці для вимірювання швидкості ультразвуку в молоці імпульсним електроакустичним методом. Виділення

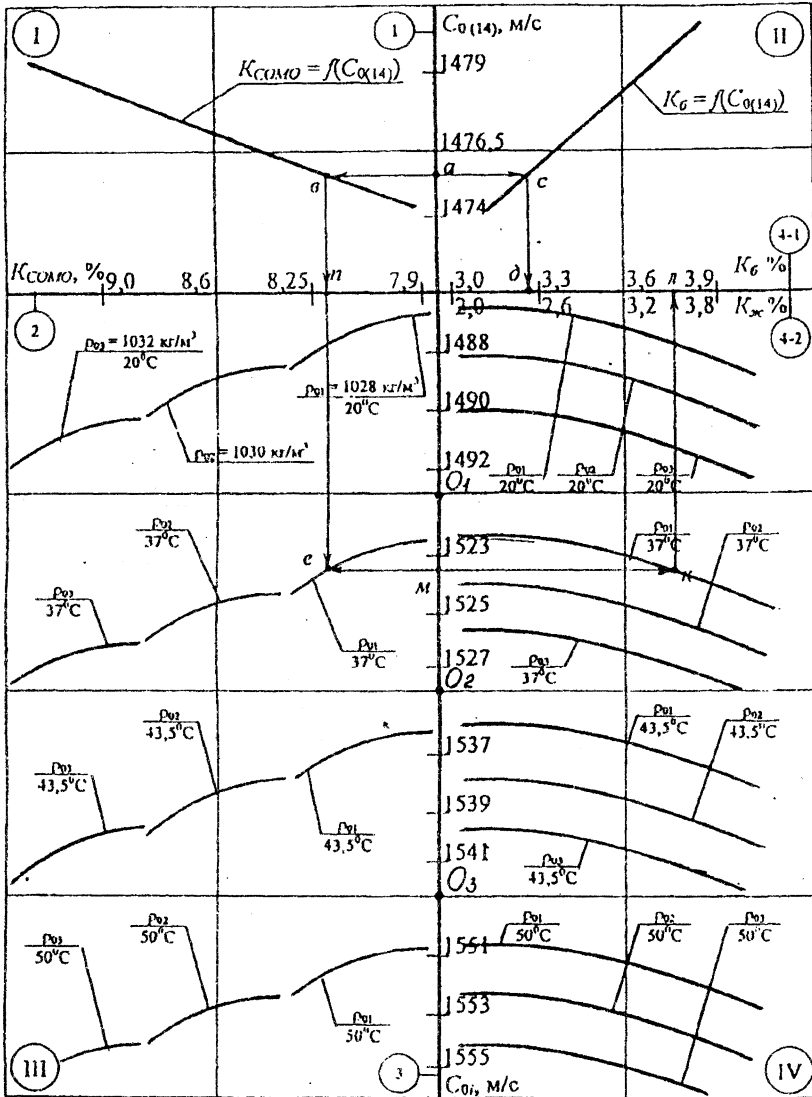


Рис.1 – Номограма для визначення якісних показників молока

корисного ультразвукового сигналу без скривлень є необхідною умовою підвищення точності вимірювань. Це, насамперед, залежить від конструкції вимірювальної камери. Для проведення експериментальних досліджень була розроблена та виготовлена вимірювальна камера, в конструкцію якої був покладений принцип «акустичний лабіринт» (патент України №24450А), а конструктивні розміри якої були визначені з урахуванням фізико-хімічних властивостей молока.

Експериментальні дослідження проводилися на основі багатofакторного експерименту, що дозволило отримати поліноміальні моделі, які описують взаємозв'язок між швидкістю ультразвуку в молоці та його фізико-хімічними властивостями і оцінити ступінь впливу чинників на функцію відгуку в області, що розглядалася.

Математична модель, яка описує залежність між швидкістю ультразвуку в молоці при температурі 14°C і концентраціями загального білка, подана у вигляді рівняння регресії:

$$Y_1 = 1476,77 + 2,86X_1 + 0,46X_2, \quad (4)$$

де Y_1 – швидкість ультразвуку в молоці при температурі 14°C;

X_1, X_2 – вхідні чинники: концентрація загального білка, температура відповідно.

Залежність між швидкістю ультразвуку в молоці та концентраціями жиру в фіксованому температурному діапазоні 20°C...50°C з урахуванням густини молока описується поліноміальною моделлю другого ступеня:

$$Y_2 = 1520,81 + 0,33X_1 + 1,69X_2 + 31,43X_3 + 0,11X_1^2, \quad (5)$$

де Y_2 – швидкість ультразвуку в молоці при i -й температурі;

X_1, X_2, X_3 – вхідні чинники: концентрація жиру, густина, температура молока відповідно.

Результати дослідів, їх статистична обробка, перевірка значущості коефіцієнтів і адекватності моделей показали, що найбільший вплив на швидкість ультразвуку суттєво справляють температура та густина молока, концентрація жиру, загального білка, а отримані поліноміальні моделі, які представлені рівняннями (4) і (5), адекватно описують функцію відгуку з урахуванням впливу кожного з чинників.

Аналіз одержаних номографічних експериментальних залежностей між швидкістю ультразвуку і концентраціями сухого знежиреного молочного залишку та загального білка при температурі молока 14°C (рис.2), а також між швидкістю ультразвуку при суворо фіксованих температурах – 20°C, 37°C, 43,5°C, 50°C і концентраціями жиру та СЗМЗ з урахуванням густини молока (рис.3) дозволив зробити висновки, що швидкість ультразвуку залежить від масової частки складових частин молока, які мають різну густину. Зміна густини молока і, як наслідок, його якісного складу впливає на швидкість ультразвукових хвиль, які розповсюджуються в молочному середовищі. Для кількісної оцінки взаємозв'язку між швидкістю ультразвуку в молоці та його фізико-хімічними властивостями були визначені коефіцієнти кореляції та кореляційні відношення. Одержані результати свідчать про те, що тісний позитивний взаємозв'язок існує між: 1) швидкістю ультразвуку мо-

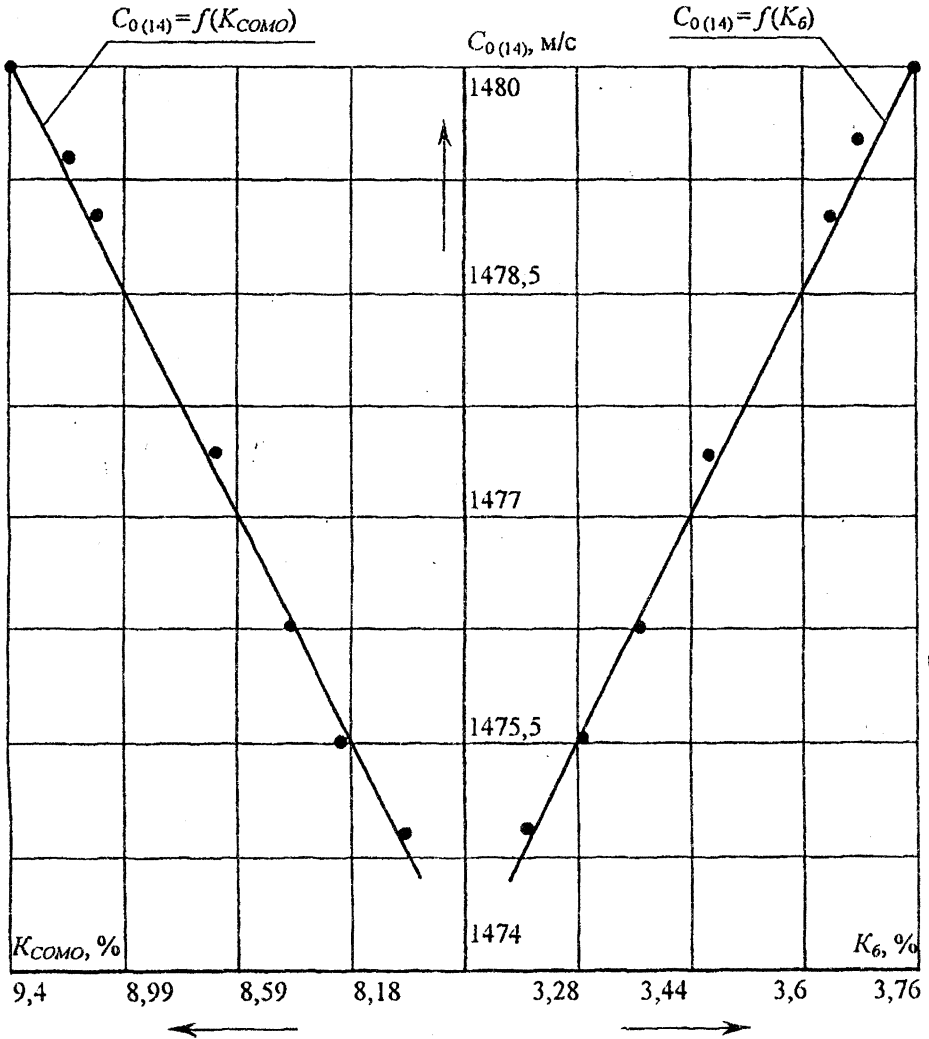


Рис.2 – Номографічні експериментальні залежності між швидкістю ультразвука $C_{0(14)}$ в молоці при температурі 14°C і концентраціями СЗМЗ $K_{\text{СЗМЗ}}$ і загального білка K_6

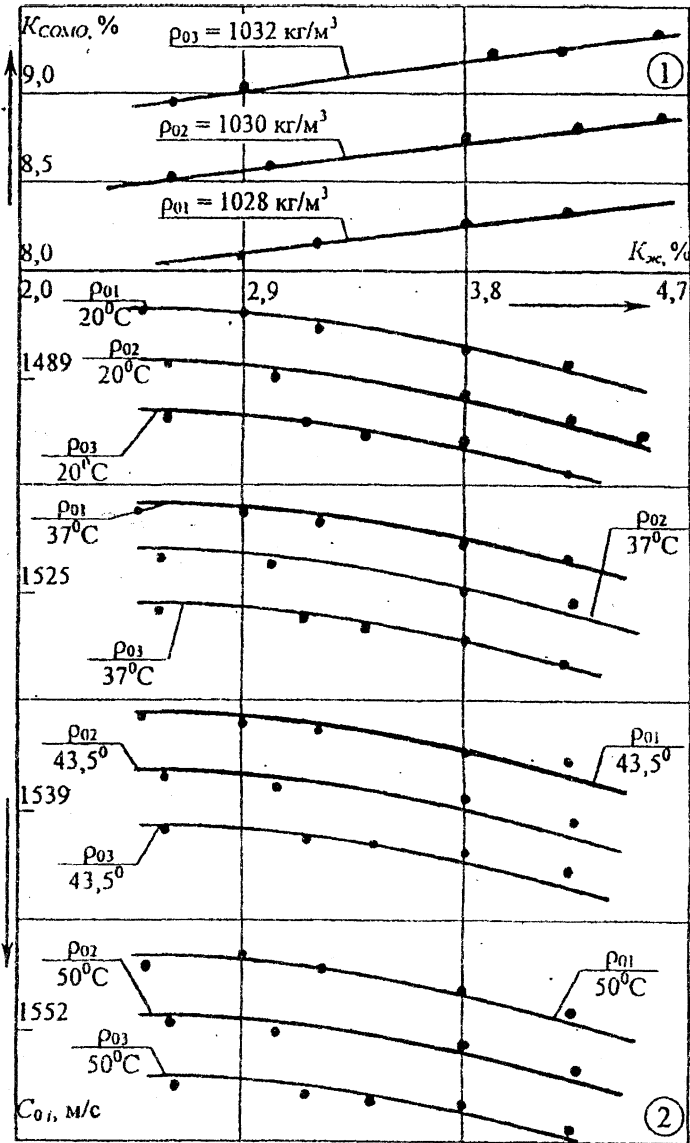


Рис.3 – Номографічні експериментальні залежності між швидкістю ультразвуку C_{0i} при фіксованих температурах 20°C , 37°C , $43,5^\circ\text{C}$, 50°C і концентраціями жиру $K_{ж}$ та СЗМЗ $K_{СММЗ}$ з урахуванням густини молока ρ_{0i}

лощі при температурі 14°C та концентраціями СЗМЗ та загального білка ($r \in [0,99...0,993]$); 2) швидкістю ультразвуку в молоці та температурою ($r \in [0,978...0,989]$); 3) швидкістю ультразвуку в молоці та густиною ($r \in [0,966...0,998]$). Отримані кореляційні відношення характеризують високий позитивний кореляційний зв'язок між швидкістю ультразвуку і концентраціями складових частин молока різної густини при температурах 20°C , 37°C , $43,5^{\circ}\text{C}$, 50°C ($\eta \in [0,982...0,998]$).

Розділ 4. «Розробка електроакустичного пристрою для визначення вмісту жиру та білка в молоці». За результатами теоретичних та експериментальних досліджень були обґрунтовані технічні вимоги до електроакустичного пристрою (ЕАП), обґрунтована структура та параметри вихідних сигналів блоків ЕАП, а також розроблені функціональна (рис. 4), структурна схеми пристрою, а із їх основи – схеми електричні принципові блоків та вузлів ЕАП. Електроакустичний пристрій для визначення вмісту жиру та білка в молоці працює таким чином. Генератор імпульсів зондування (ГЗ) виробляє імпульси, які поступають на п'єзовипромінювальний перетворювач (ВП), який розташований у вимірювальній камері. Прямий ультразвуковий сигнал, проходячи крізь об'єкт контролю (ОК), надходить на приймальний п'єзоперетворювач (ПП), де знову перетворюється в електричний сигнал. Генератор (ГЗ) також виробляє сигнал, який надходить на вхідний пристрій формування (ВФФ1), де відбувається формування вхідних сигналів з крутим фронтом, які по каналу запуску надходять на вузол керування «запуск-зупинка» лічильників (ВК). По електричному сигналу, який надходить з приймального п'єзоперетворювача, спрацьовує компаратор (К), що через вхідний пристрій формування (ВФФ2) формує сигнал з крутим фронтом, який далі надходить на вхід зупинки вузла керування (ВК). В розробленій системі вирішується задача вимірювання інтервалу часу, за який ультразвукова хвиля проходить крізь молочне середовище. Вузол керування управляє циклом вимірювання, тобто виробляє строб-імпульс, тривалість якого дорівнює інтервалу часу проходження ультразвукової хвилі крізь молочне середовище. Строб-імпульс керує головним селектором (ГС), на який надходять мітки часу з кварцового генератора міток часу (ГК). Головний селектор відкривається і пропускає сформовані сигнали на блок лічильників (БЛ) тільки на протязі часу вимірювання. Блок лічильників підраховує кількість імпульсів, які надійшли на його вхід за час вимірювання, і видає пакети імпульсів, кількість яких відповідає часу проходження ультразвукової хвилі крізь молочне середовище. Час проходження ультразвукової хвилі використовується як інформативний сигнал, який залежить від фізико-хімічних властивостей молока, а отже і від вмісту жиру та білка.

Побудова математичної моделі електроакустичного пристрою на основі функціональної схеми дозволила описати процес перетворення вхідного інформативного сигналу в цифровий код на виході ЕАП. Математична формалізація процесу трансформації вхідного сигналу дозволила визначити залежності між вихідними сигналами пристрою та параметрами, які характеризують якісний склад молока, і розрахувати граничні величини вихідних сигналів пристрою. В розробленому електроакустичному пристрої перетворення результату визначення швидкості ультразвуку, яка дорівнює відношенню акустичної бази

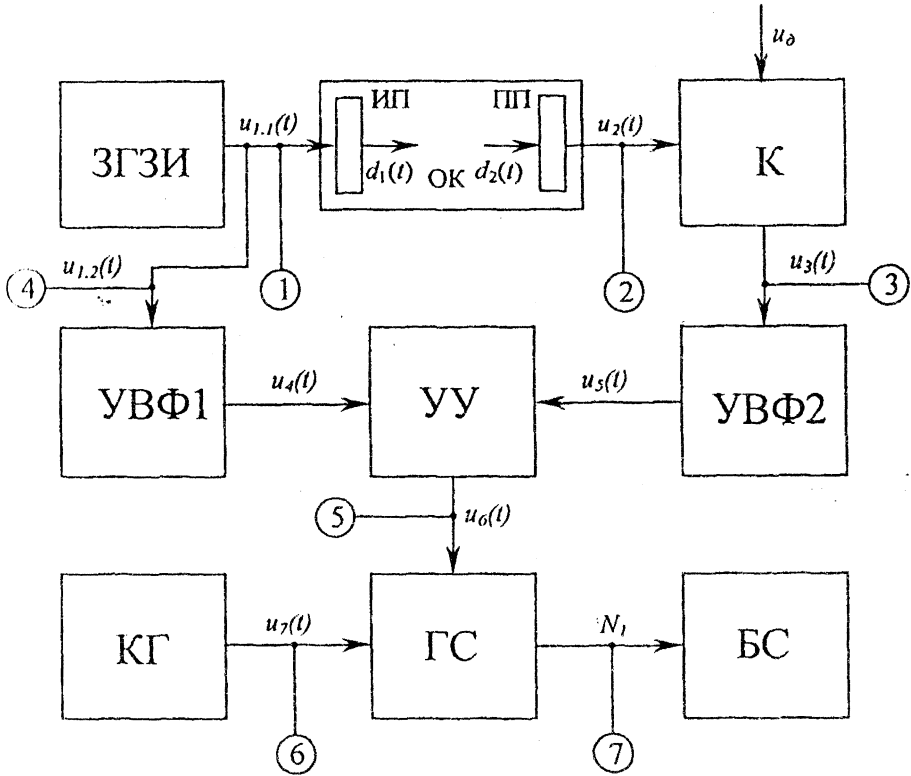


Рис.4 – Функціональна схема електроакустичного пристрою для визначення вмісту жиру та білку в молоці

вимірювальної камери до інтервалу часу проходження хвилі крізь молочне середовище, а також обчислення, обробка та відображення інформації про вміст жиру, білка та СЗМЗ здійснюється обчислювально-індикаційним блоком пристрою, а також передбачена можливість використання пристрою спільно з ПЕОМ за спеціальною програмою. Елементна база пристрою забезпечує необхідну точність визначення вмісту жиру та білка в молоці.

Розділ 5. «Експериментальні дослідження та виробнича перевірка електроакустичного пристрою». Для дослідження характеристик розробленого електроакустичного пристрою проводились лабораторні експериментальні дослідження, які показали, що принципи дії та елементна база блоків пристрою забезпечують можливість визначення вмісту жиру та білка з достатньою точністю, а відносні похибки блоків ЕАП не перевищують допустимі межі та задовольняють технічним вимогам, загальний показник точності пристрою складає 96,8%.

Виробничі випробування проводились на орендному підприємстві «Садовод» (м. Севастополь, Республіка Крим) та в колективному сільськогосподарському підприємстві імені Фрунзе (Новоодеський район, Миколаївська область). Всі елементи конструктивних блоків пристрою працювали надійно, відмов та хибних спрацьовувань не було. Ймовірність безвідмовної роботи електроакустичного пристрою при $t=500$ годин складала $P(t)=0,9$, а середній час такої роботи пристрою дорівнює 4535 годин. Інструментальна похибка при вимірюванні вмісту жиру не перевищує 0,04%, загального білка – 0,06%.

Річний економічний ефект від застосування електроакустичного пристрою для визначення вмісту жиру та білка в молоці складає більш ніж 5000 гривень при обсязі виробництва та переробці молока більш ніж 2000 тонн на рік, а термін окупності капітальних витрат дорівнює 0,17 року.

ВИСНОВКИ

1. За результатами аналізу методів і засобів для визначення вмісту жиру та білка в молоці встановлено, що одним з перспективних методів є імпульсний електроакустичний метод.

2. Для оцінки вмісту жиру, загального білка та сухого знежиреного молочного залишку теоретично обґрунтований взаємозв'язок між швидкістю ультразвука в молоці та фізико-хімічними властивостями молока – густиною, концентраціями жиру, загального білка, СЗМЗ, температурою, стисливістю. При температурі 14°C розрахункові значення швидкості ультразвука в молоці змінюються в межах 1473,5м/с...1480,1м/с при зміні концентрації СЗМЗ та загального білка. При зміні концентрації жиру розрахункові значення швидкості ультразвука в молоці при температурі в діапазоні температур 20°C...50°C з урахуванням густини знаходяться в межах 1486,8м/с...1554,33м/с.

3. Вперше отримані номографічні залежності дозволяють визначати величини концентрації жиру, загального білка, сухого знежиреного молочного залишку (СЗМЗ) та густини молока.

4. Експериментальні дослідження взаємозв'язку між швидкістю ультразвука в молоці та концентраціями жиру, загального білка дозволили встановити, що при температурі 14°C при зміні концентрацій СЗМЗ та загального білка відповідно від 7,7% до 10% та від 3% до 3,8% швидкість ультразвуку в молоці

знаходиться в межах 1474,1м/с ...1480,3м/с. При фіксованих температурах з діапазону температур 20°C ...50°C при збільшенні концентрації жиру від 2%...4,5% з урахуванням зміни густини молока від 1027 кг/м³ до 1032 кг/м³ швидкість ультразвука в молоці збільшується від 1487,25м/с до 1554,75м/с.

5. Експериментальні дослідження виявили високий позитивний взаємозв'язок між швидкістю ультразвука в молоці та фізико-хімічними властивостями молока, що підтверджується коефіцієнтами кореляції ($r \in [0,966...0,998]$) і кореляційними відношеннями ($\eta \in [0,982...0,998]$).

6. За результатами теоретичного аналізу та експериментальних досліджень встановлено, що інформативним параметром про кількісний стан дисперсної фази молока є швидкість ультразвука в молоці, що дозволило на основі використання вищезазнаного показника електроакустичних властивостей молока обґрунтувати імпульсний електроакустичний метод визначення вмісту жиру та білка.

7. Розроблена математична модель електроакустичного пристрою (ЕАП) для визначення вмісту жиру та білка в молоці дозволила аналітично описати процес перетворення вхідного ультразвукового сигналу в цифровий код на вході пристрою.

8. Розроблений електроакустичний пристрій для визначення вмісту жиру та білка в молоці дозволяє за значенням швидкості ультразвука в молоці при температурі 14°C визначати вміст загального білка та СЗМЗ, а за значенням швидкості ультразвука в молоці при температурі з діапазону температур 20°C...50°C з урахуванням автоматично вводимі поправки на вміст СЗМЗ визначати вміст жиру в молоці. Пристрій можна використовувати як автономно, так і в спр'язінні з ПЕОМ.

9. Дослідження та виробничі випробування електроакустичного пристрою на АП «Садовод» (м. Севастополь, Республіка Крим) і в КСП імені Фрунзе (Новоодеський район, Миколаївська область) показали, що тривалість циклу вимірювання однієї проби складає 70 секунд, інструментальна похибка при вимірюванні вмісту жиру не перевищує 0,04%, загального білка – 0,06%, загальний показник точності пристрою складає 96,8%.

10. Техніко-економічні розрахунки показали, що річний економічний ефект від застосування електроакустичного пристрою для визначення вмісту жиру та білка в молоці складає більш ніж 5000 гривень при обсязі виробництва та переробці молока більш ніж 2000 тонн на рік, а термін окупності капітальних витрат дорівнює 0,17 року.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ РОБІТ, ЯКІ ВИСВІТЛЮЮТЬ ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Яковлев В.Ф., Гончарова Д.Н. Обзор методов определения содержания жира и белка в молоке // Автоматизация и компьютеризация в сельском хозяйстве: Сб. науч. тр. - М.: МГАУ, 1995. - с.66-68. (узагальнення, класифікація методів; доля здобувача – 80%).

2. Гончарова Д.Н., Яковлев В.Ф. Обоснование параметров измерительной камеры электроно-акустической системы контроля содержания жира в молоке; Сб. науч. тр. – Мелитополь: ТГАТА, 1996. - с.6-7. (обґрунтування конструктивних параметрів вимірювальної камери; доля здобувача – 60%).

3. Адоньев Е.А., Гончарова Д.Н. Анализ многокомпонентных жидких сред в технологических линиях переработки сельскохозяйственной продукции // Проблемы конструирования, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки: Зб. наук. пр. – Кіровоград: КІСМ, – 1997. – с.121-123. (розробка технічних вимог до пристрою контролю; доля здобувача – 55%).

4. Гончарова Д.Н., Яковлев В.Ф. Моделирование процесса контроля качества молока акустическим методом // Прикладная геометрия и инженерная графика: Труды Таврической государственной агротехнической академии. – вып.4. – Т.1 – Мелитополь: ТГАТА, 1997. - с.61-64. (аналітичні та номографічні залежності; доля здобувача – 60%).

5. Гончарова Д.М., Яковлев В.Ф. Обгрунтування параметрів процесу контролю вмісту жиру та білка в молоці методом акустичного зондування // Техника в сільськогосподарському виробництві: Труды Таврической государственной агротехнической академии. – вып.1. – Т.4 – Мелитополь: ТГАТА, 1998. - с.59-61. (обробка та аналіз статистичних даних; доля здобувача – 70%).

6. Гончарова Д.М. Комплексний ультразвуковий аналізатор якісного складу молока // Техника в сільськогосподарському виробництві: Труды Таврической государственной агротехнической академии. – вып.1. – Т.4 - Мелитополь: ТГАТА, 1998. - с.113-115.

7. Гончарова Д.М. Розробка та технічна реалізація методу контролю вмісту жиру та білка в молоці: Труды Таврической государственной агротехнической академии. – вып.1. – Т.8 – Мелитополь: ТГАТА, 1998. - с.27-30.

8. Гончарова Д.М., Яковлев В.Ф. Математична модель ультразвукового аналізатора якісного складу молока: Труды Таврической государственной агротехнической академии. – вып.1. – Т.8 – Мелитополь: ТГАТА, 1998. - с.21-26. (структурна схема, аналітичні залежності, обробка та аналіз статистичних даних; доля здобувача - 70%).

9. Пат.23978А Україна, МКІ⁶ G01N 29/02, G01N 33/06 Спосіб визначення вмісту жиру в молоці / І.І.Мартиненко, В.Ф.Яковлев, Д.М.Гончарова (Україна). – №96114166; Заяв. 05.11.96; Опубл. 31.08.98, Бюл. №4. – 5с. (параметри способу – температура середовища, частота сигналу; доля здобувача - 35%).

10. Пат.24450А Україна, МКІ⁶ G01N 29/02 Ультразвуковий пристрій для вимірювання концентрацій компонентів рідинних середовищ / І.І.Мартиненко, В.Ф.Яковлев, Е.О.Адон'єв, Д.М.Гончарова (Україна). - №96072853; Заяв. 16.07.96; Опубл. 30.10.98, Бюл. №5. – 5с. (схемні та конструктивні рішення пристрою; доля здобувача - 35%).

11. Гончарова Д.Н. К вопросу об акустическом контроле содержания жира в молоке // Труды Междунар. конф. «Ультразвуковая техника и технология». – Минск: БАТУ, 1995. - с.10.

Гончарова Д.М. Використання електрофізичних властивостей молока для визначення вмісту жиру та білка при первинній обробці молока на тваринницьких фермах і комплексах. – Рукопис.

Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.20.02 - Застосування електротехнологій у сільськогосподарському виробництві. - Таврійська державна агротехнічна академія, Мелітополь, 1998.

Містить результати теоретичних та експериментальних досліджень взаємозв'язку між швидкістю ультразвуку в молоці, його фізико-хімічними властивостями. За результатами досліджень розроблений електроакустичний метод визначення вмісту жиру та білка в молоці. Вперше отримані аналітичні та номографічні залежності, які дозволяють визначати концентрації жиру та білка в молоці. Здійснена технічна реалізація розробленого методу в пристрої та його впровадження у виробництво. Економічна ефективність пристрою обґрунтована теоретично і підтверджена практично.

Ключові слова: електрофізичні властивості молока; вміст жиру та білка в молоці; швидкість ультразвуку в молоці; електроакустичний метод.

Goncharova D.N. Using of electrophysical properties of milk for determination of fat and albumen concentration at the primary processing of milk at stock-breeding farms and complexes. . – Manuscript.

Thesis for candidate of science degree competition on speciality 05.20.02 – Using of electrotechnologies application in agricultural production. - Tavria State Academy, Melitopol, 1998.

The dissertation contains the results of theoretical and experimental researches of correlation between an Indication of electroacoustic properties of milk - the speed of ultrasound in milk and it's physical and chemical properties. The electroacoustic method of determination of fat and albumen concentration in milk has been developed according to the results of the researches. For the first time analytic and nomographic dependencies were obtained which allow to determine fat and albumen concentration in milk. This method is realised in device, that introduced in production. The economical effectiveness of device is based on theory and substantiated by practice

Key words: electrophysical properties of milk; fat and albumen concentration in milk; speed of ultrasound in milk; electroacoustic method.

Гончарова Д.Н. Использование электрофизических свойств молока для определения содержания жира и белка при первичной обработке молока на животноводческих фермах и комплексах. - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.20.02 - Применение электротехнологий в сельскохозяйственном производстве. - Таврическая государственная агротехническая академия, Мелитополь, 1998.

Обоснована актуальность работы, состояние вопроса, цель и задачи исследований. Анализ исследовательских работ, посвященных разработке методов и устройств для определения содержания жира и белка в молоке, позволил обобщить и классифицировать методы, а также сформулировать требования к

методу определения составных частей молока.

Для оценки содержания жира, общего белка и сухого обезжиренного молочного остатка (СОМО) путем определения скорости ультразвука в молоке теоретично обоснована взаимосвязь между скоростью ультразвука и физико-химическими свойствами молока. Впервые полученные аналитические и номографические зависимости позволяют определять концентрации жира, общего белка и СОМО.

Применение измерительной камеры, в конструкции которой реализован принцип «акустический лабиринт» (патент Украины №24450А), позволило повысить точность измерений. Экспериментальные исследования взаимосвязи между скоростью ультразвука в молоке и концентрациями жира, общего белка выявили, что при температуре 14°C при изменении концентраций СОМО и общего белка соответственно от 7,7% до 10% и от 3% до 3,8% скорость ультразвука в молоке находится в пределах 1474,1 м/с...1480,3 м/с. При температуре из диапазона температур 20°C...50°C при увеличении концентраций жира от 2% до 4,5% с учетом изменения плотности молока с 1027 кг/м³ до 1032 кг/м³ скорость ультразвука в молоке увеличивается с 1487,25 м/с до 1554,75 м/с.

По результатам теоретического анализа и экспериментальных исследований установлено, что информативным параметром о количественном состоянии дисперсной фазы молока является скорость ультразвука, что позволило на основании использования данного показателя электроакустических свойств молока обосновать импульсный электроакустический метод определения содержания жира и белка, техническая реализация которого осуществлена в электроакустическом устройстве (ЭАУ), к которому обоснованы технические требования, структура и параметры выходных сигналов блоков, а также разработана структурная, функциональная схемы устройства, на их основе - схемы электрические принципиальные блоков и узлов ЭАУ. Разработка математической модели ЭАУ позволила аналитически описать процесс преобразования входного ультразвукового сигнала в цифровой код на выходе устройства. Электроакустическое устройство для определения содержания жира и белка в молоке позволяет по значению скорости ультразвука в молоке при температуре 14°C определять содержание общего белка и СОМО, а по значению скорости ультразвука в молоке при температуре из диапазона температур 20°C...50°C с учетом автоматически вводимой поправки на содержание СОМО определять содержание жира в молоке. ЭАУ можно использовать как автономно, так и в сопряжении с ПЭВМ.

Исследования и производственные испытания устройства в АП «Садовод» (г. Севастополь, Республика Крым) и в КСП им. Фрунзе (Новоодецкий район, Николаевская область) показали, что продолжительность цикла измерения одной пробы составляет 70 секунд, а инструментальная погрешность при измерении содержания жира не превышает 0,04%, общего белка - 0,06%.

Экономическая эффективность электроакустического устройства обоснована теоретически и подтверждена практически.

Ключевые слова: электрофизические свойства молока; содержание жира и белка в молоке; скорость ультразвука в молоке; электроакустический метод.

Комп'ютерна верстка *Деревенчук О.А.*

Підписано до друку 14.04.1999. Зам.№ 550

Формат 60×84 1/16. Умв.-вид. арк. 1,0. Тираж 100 прим.

Видавничий відділ Таврійської державній агротехнічній академії.

Адреса: 332312., Україна, Запорізька обл., м.Мелітополь,

пр-т Б.Хмельницького, 18.