

УДК 005.591.6:005.57

В.Д. Коренев\*  
Д.В. Лазаренко\*\*

## ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА ЕФЕКТИВНИХ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЯКОСТІ МОЛОКА У КОНТЕКСТІ ПІДВИЩЕННЯ ПРИБУТКУ ПІДПРИЄМСТВА

*В статті розглядається найефективніший метод визначення параметрів якості молока, а також розробка математичних моделей для зниження похибки визначення жирності молока, що приведе до значного зростання прибутку підприємства.*

*В статье рассматривается самый эффективный метод определения параметров качества молока, а также разработка математических моделей для снижения погрешности определения жирности молока, которое приведет к значительному росту прибыли предприятия.*

**Постановка проблеми.** Питання якості продукції завжди актуальні у контексті конкурентоспроможності вітчизняних виробників сільськогосподарської продукції. Підвищення показника по жиру, сухого молочного знежиреного залишку на 0,1 % чи одиниці щільності при існуючому ціноутворенні збільшує виручку за молоко на 3,3 % (у сукупності на 10 %). Тому дуже ефективно і економічно вигідно підвищувати точність методів, якими визначається жирність молока, що приведе до значного зростання прибутку підприємства.

Розглянуто модель ультразвукового методу визначення жиру у молоці.

Зниження похибки методу, приведе до підвищення швидкості дії методу, швидкості аналізу, швидкості прийомки молока і забезпечить значне збільшення економічної ефективності молочних підприємств.

**Аналіз досліджень і публікацій.** В останній час цією проблемою мало хто займається, але вона гостро поставлена і потребує глибокого аналізу. Серед робіт, в яких велися дослідження за даною проблематикою можна виділити: Л.І. Степанової [1], П.В. Кургенева [2], В.В. Муравйова, Л.Б. Зуєва та К.Л. Комарова [3], Н.І. Дунченко, А.Г. Храмцова та ін. [4], Г.Н. Крусъ, А.М. Шалигіної та З.В. Волокітіної [5], Л.П. Брусиловського та А.Я. Вайнберга [6].

**Метою статті** є розробка ефективного методу визначення параметрів якості молока, що приведе до значного зростання прибутку підприємства.

**Виклад основного матеріалу.** Ультразвуковий метод забезпечує аналіз молока без необхідності в гомогенізації перед виміром, не змінюється хімічний склад молока, можна визначити не тільки жирність молока, але й інші його компоненти, саме тому цей метод і був вибраний для дослідження.

Ультразвукові жироміри засновані на використанні залежності швидкості розповсюдження ультразвуку або ступеня поглинання ультразвуку від параметрів складу молока. Швидкість розповсюдження ультразвукових хвиль у рідині залежить від її фізико-хімічного складу і температури. У загальному виді швидкість ультразвуку при постійній температурі є функцією її щільності і адиабатичної стискальності рідини.

На основі досліджень проведених на «ВАТ Звенигородський молокозавод» вимір швидкості ультразвуку повинний проводитися з похибкою  $\pm 0,005\%$ , а термостатування молока – з похибкою не більш  $\pm 0,2^\circ\text{C}$ .

При температурі  $t = 14^\circ\text{C}$  з пункту одержуємо:

$$S = \frac{V_{m1} - V_{\omega}}{K_1} = \frac{V_{m1} - 1462,7}{3,8}, \quad (1)$$

Вплив вмісту жиру на швидкість ультразвуку у молоці при  $S_{\text{ж}} = 8,5\%$  СЗМЗ і  $t = 50^\circ\text{C}$  показано на рис. 1.

Для знаходження похибки визначення жирності молока необхідно мати математичну модель для розрахунку жирності молока (С) за результатами виміру швидкості ультразвуку (V) у молоці.

\* Коренев В.Д. – доцент кафедри електронної техніки, канд. техн. наук, доцент.

\*\* Лазаренко Д.В. – магістр.

Донецький національний технічний університет, м. Донецьк.

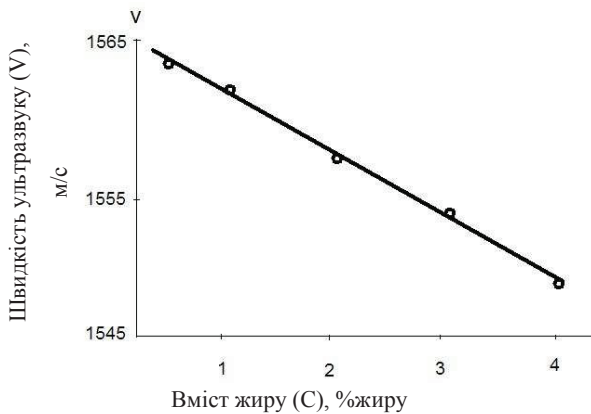


Рис. 1. Графік залежності швидкості ультразвуку в молоці від вмісту жиру при  $S_{ep} = 8,5\%$  СЗМЗ

Аналitiчну залежність можна одержати, виходячи з графічної залежності  $C = f(V)$ , приведеної на рис. 1. З графіка видно що залежність  $C = f(V)$  лінійна, виходить, одержуємо:

$$C(V) = a \cdot V + b, \quad (2)$$

Для знаходження коефіцієнтів  $a$  і  $b$  використовуємо метод найменших квадратів.

Похибка апроксимації  $\Delta$  визначається по формулі:

$$\Delta = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (c_i - C(v_i))^2}{N}}, \quad (3)$$

де  $c_i$  – значення жирності молока, знайдених за графіком;

$C(v_i)$  – значення жирності молока, визначене по формулі (2);

$N = 6$  – кількість крапок узятих для апроксимації.

Розрахунок коефіцієнтів  $a$ ,  $b$  і похибки апроксимації  $\Delta$  проведений, використовуючи ППП Mathcad.

Таким чином, аналitiчна залежність жирності молока від швидкості ультразвуку в молоці виглядає таким чином:

$$C = -0,222 \cdot V_{ep} + 347,866. \quad (4)$$

Оцінимо похибку знаходження жирності молока  $C$ :

$$\Delta C = |\partial C / \partial V_{ep}| \cdot \Delta V_{ep}, \quad (5)$$

де  $|\partial C / \partial V_{ep}| = 0,222 \frac{\% \text{ жиру}}{\text{м/с}}$  – отримано з залежності (1);

$$\Delta C = 0,1\% \text{ жиру};$$

Тоді з формули (5) одержимо:

$$\Delta V_{ep} = \frac{\Delta C}{\left| \frac{\partial C}{\partial V_{ep}} \right|} = \frac{0,1}{0,222} = 0,45 \left( \frac{\text{м}}{\text{с}} \right).$$

При температурі  $t = 50^\circ\text{C}$ : коефіцієнт  $K_2 = 2,6 \frac{\text{м/с}}{\% \text{ СЗМЗ}}$  і швидкість ультразвуку в молоці з поправкою, що вводиться, на масову частку СЗМЗ, буде рівна:

$$\begin{aligned} V_{ep} &= V_{m2} - K_2 \cdot S + K_2 \cdot S_{ep} = V_{m2} + 2,6 \cdot (8,5 - S) = \\ &= V_{m2} - 2,6 \cdot S + 22,1, \end{aligned} \quad (6)$$

де  $V_{ep}$  – швидкість ультразвуку, для знаходження жирності молока по формулі (4);

$S$  – масова частка СЗМЗ, яка визначається по формулі (1);

$V_{m2}$  – швидкість ультразвуку при температурі  $t = 50^\circ\text{C}$ .

Оцінимо похибку знаходження швидкості ультразвуку ( $V_{ep}$ ) непрямим методом: за результатами виміру СЗМЗ ( $S$ ) і швидкості ультразвуку при температурі  $t = 50^\circ\text{C}$   $V_{m2}$ .

Похибка побічно визначуваної величини може бути розрахована по формулі:

$$\Delta V_{ep}(p) = k \cdot \sqrt{\left( \frac{\partial V_{ep}}{\partial S} \cdot \Delta S \right)^2 + \left( \frac{\partial V_{ep}}{\partial V_{m2}} \cdot \Delta V_{m2} \right)^2}, \quad (7)$$

де  $\Delta V_{ep}(p)$  – довірча границя похибки побічно вимірюваної величини  $V_{ep}$  (швидкості ультразвуку) при довірчій імовірності  $P$  ( $\Delta V_{ep} = 0,45$  м/с – знайдено вище);

$k$  – коефіцієнт, обумовлений прийнятою довірчою імовірністю  $P$  ( $k=1,1$  при  $P=0,95$ );

$\Delta S$ ,  $\Delta V_{m2}$  – похибки знаходження СЗМЗ і швидкості ультразвуку  $V_{m2}$ , відповідно, ( $\Delta S = 0,15\%$  СЗМЗ).

З формули (6) одержимо:

$$\frac{\partial V_{ep}}{\partial S} = -2,6 \frac{\text{м/с}}{\% \text{ СЗМЗ}}, \quad \frac{\partial V_{ep}}{\partial V_{m2}} = 1.$$

З формули (7) знайдемо похибку виміру швидкості ультразвуку  $\Delta V_{m2}$  при температурі  $t = 50^\circ\text{C}$ :

$$\begin{aligned} \Delta V_{m2} &= \frac{1}{\frac{\partial V_{ep}}{\partial V_{m2}}} \cdot \sqrt{\left( \frac{\Delta V_{ep}}{k} \right)^2 - \left( \frac{\partial V_{ep}}{\partial S} \cdot \Delta S \right)^2} = \\ &= \frac{1}{1} \cdot \sqrt{\left( \frac{0,45}{1,1} \right)^2 - (-2,6 \cdot 0,15)^2} = 0,123 \left( \frac{\text{м}}{\text{с}} \right). \end{aligned}$$

Визначимо відносну похибку виміру швидкості ультразвуку  $\Delta V_{m2}$  при температурі  $t = 50^\circ\text{C}$ :

$$\delta_V = \frac{\Delta V_{m2}}{V} \cdot 100 \% = \frac{0,123}{1500} \cdot 100 \% = 0,0082 \%$$

Оцінимо похибку знаходження СЗМЗ ( $S$ ) скориставшись формулою (1):

$$\Delta S = |\partial S / \partial V| \cdot \Delta V. \quad (8)$$

З формули (1) одержимо:

$$|\partial S / \partial V| = \frac{1}{3,8} \frac{\%CЗМЗ}{\text{м/с}}$$

Скориставшись формулою (8) при похибці виміру швидкості ультразвуку  $\Delta V = 0,123$  м/с одержимо:

$$\Delta S = \frac{1}{3,8} \cdot 0,123 = 0,03(\%CЗМЗ).$$

Вміст жиру в молоці може бути визначено не тільки по швидкості ультразвуку, але і по ступені поглинання коливань шаром молока.

На рис. 2 показана зміна коефіцієнта поглинання  $\alpha$  у залежності від вмісту жиру ( $C$ ) в молоці.

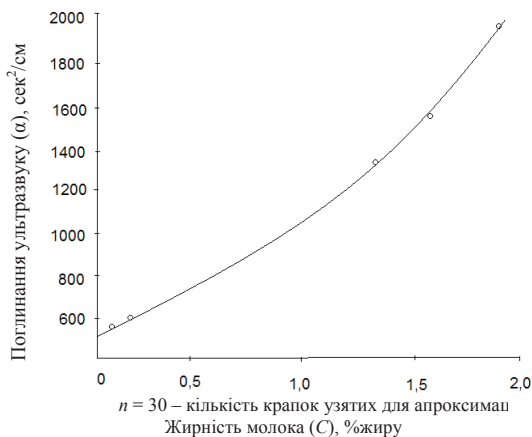


Рис. 2. Графік залежності коефіцієнта поглинання ультразвуку від вмісту жиру в молоці

Аналітичну залежність можна одержати, виходячи з графічної залежності  $C = f(\alpha)$ , приведеної на рис. 2. Для апроксимації залежності жирності молока від коефіцієнта поглинання представимо крапки  $C_i$  у виді полінома  $k$ -го порядку. Тобто:

$$C(\alpha) := \sum_{j=0}^k a_j \cdot (\alpha)^j, \quad (9)$$

де  $C(\alpha)$  – апроксимуючий поліном ;

$a_j$  – коефіцієнти полінома.

Похибка апроксимації  $\Delta$  визначається по формулі:

$$\Delta = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^N (c_i - C(\alpha_i))^2}{n-1}}, \quad (10)$$

де  $c_i$  – значення жирності молока, знайдених за графіком (рис. 2) ;

$C(\alpha_i)$  – значення жирності молока, визначене по формулі (9);

$n = 30$  – кількість крапок узятих для апроксимації.

Розрахунок коефіцієнтів  $a_j$  апроксимуючого полінома і похибки апроксимації  $\Delta$  проведений, використовуючи ППП Mathcad. Була отримана залежність похибки апроксимації від порядку апроксимуючого полінома. При цьому отримані наступні коефіцієнти апроксимуючого полінома:

$$a_1 = 0,01529 \frac{\% \text{ жиру}}{\text{сек}^2 / \text{см}},$$

$$a_2 = -2,05497 \cdot 10^{-5} \frac{\% \text{ жиру}}{(\text{сек}^2 / \text{см})^2},$$

$$a_4 = -6,76899 \cdot 10^{-12} \frac{\% \text{ жиру}}{(\text{сек}^2 / \text{см})^4},$$

$$a_5 = 1,05934 \cdot 10^{-15} \frac{\% \text{ жиру}}{(\text{сек}^2 / \text{см})^5}.$$

Таким чином, аналітична залежність жирності молока від коефіцієнта поглинання в молоці виглядає таким чином:

Оцінимо похибку знаходження жирності молока  $C$ :

$$\Delta C = |\partial C / \partial \alpha| \cdot \Delta \alpha. \quad (11)$$

Скориставшись формулою (11) одержимо:

$$|\partial C / \partial \alpha| = 0,01529 - 4,10994 \cdot 10^{-5} \cdot \alpha + 5,01486 \cdot 10^{-8} \cdot \alpha^2 - 27,07596 \cdot 10^{-12} \cdot \alpha^3 + 5,2967 \cdot 10^{-15} \cdot \alpha^4.$$

Скориставшись формулою (8) знайдемо абсолютну похибку виміру коефіцієнта поглинання для  $\Delta C = 0,1$  % жиру [1] і значення коефіцієнта поглинання  $\alpha = 2020 \frac{\text{сек}^2}{\text{см}}$ :

$$\Delta \alpha = \Delta C / (0,01529 - 4,10994 \cdot 10^{-5} \cdot \alpha + 5,01486 \cdot 10^{-8} \cdot \alpha^2 - 27,07596 \cdot 10^{-12} \cdot \alpha^3 + 5,2967 \cdot 10^{-15} \cdot \alpha^4),$$

$$\Delta \alpha = 0,1 / (0,01529 - 4,10994 \cdot 10^{-5} \cdot 2020 + 5,01486 \cdot 10^{-8} \cdot 2020^2 - 27,07596 \cdot 10^{-12} \cdot 2020^3 + 5,2967 \cdot 10^{-15} \cdot 2020^4) = 52,24.$$

Визначимо відносну похибку виміру коефіцієнта поглинання:

$$\delta_\alpha = \frac{\Delta \alpha}{\alpha} \cdot 100 \% = \frac{52,24}{2020} \cdot 100 \% = 2,6 \%$$

Сучасні ультразвукові прилади забезпечу-

ють вимір швидкості ультразвуку з похибкою 0,003% , що менше необхідної похибки 0,0082%, що дає можливість знайти параметри молока з більшою точністю.

Знайдемо абсолютну похибку виміру коефіцієнта поглинання для  $\Delta C = 0,1 \%$  жиру [1] і значення коефіцієнта поглинання  $\alpha = 2020 \frac{\text{сек}^2}{\text{см}}$ :

$$\Delta\alpha = 0,1 / (0,01529 - 4,10994 \cdot 10^{-5} \cdot 2020 + 5,01486 \cdot 10^{-8} \cdot 2020^2 - 27,07596 \cdot 10^{-12} \cdot 2020^3 + 5,2967 \cdot 10^{-15} \cdot 2020^4) = 52,24.$$

Визначимо відносну похибку виміру коефіцієнта поглинання:

$$\delta_{\alpha} = \frac{\Delta\alpha}{\alpha} \cdot 100 \% = \frac{52,24}{2020} \cdot 100 \% = 2,6 \%$$

**Висновок.** Ультразвукові прилади забезпечують вимір коефіцієнта поглинання ультразвуку з похибкою 5%, що більше необхідної похибки 2,6%. Виходить, визначення вмісту жиру в молоці за коефіцієнтом поглинання неможливо, тому що необхідна точність не досягається. Недоліки методу: для високої точності виміру жирності молока, молоко повинне мати температуру 50°C с похибкою 0,2°C. Реалізація методу, а також мо-

Поступила до редакції 06.10.08

делей приведе до значного зростання прибутку підприємства і підвищення якості продукції.

#### Література

1. Степанова Л.И. Справочник технолога молочного производства. Технология и рецептуры. – Т.1. – СПб.: ГИОРД, 2003. – 384 с.
2. Кургуев П.В. Молоко и молочные продукты. – М., 1994. – 186 с.
3. Муравьев В.В., Зуев Л.Б., Комаров К.Л. Скорость звука. – Новосибирск: Наука, 2001. – 198 с.
4. Экспертиза молока и молочных продуктов. Качество и безопасность: Учеб. пособие. / Дунченко Н.И., Храмов А.Г. и др. – Новосибирск: Сиб. унив. изд., 2007. – 477 с.
5. Крус Г.Н., Шалыгина А.М., Волокитина З.В. Методы исследования молока и молочных продуктов. – М.: Колос, 2002 – 368 с.
6. Брусиловский Л.П., Вайнберг А.Я. Приборы технологического контроля в молочной промышленности: Справочник. – 2-е изд. – М.: Агропромиздат, 1990. – 288 с.

© В.Д. Коренев, Д.В. Лазаренко, 2008

УДК 502.7

Д.В. Бережной\*  
М.Г. Хламов\*\*

#### АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОГО МЕТОДА ПОСТРОЕНИЯ СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКОГО ГАЗОАНАЛИЗАТОРА ДИОКСИДА СЕРЫ

*У статті в контексті екологічних проблем території (екологічного моніторингу) розглядаються метод і спосіб реалізації вимірювального каналу з кулястою кюветою. Аналіз методу був зроблений з метою підвищення ефективності промислових вимірювань.*

*В статье в контексте экологических проблем территории (экологического мониторинга) рассматриваются метод и способ реализации измерительного канала с шарообразной кюветой. Анализ метода был сделан с целью повышения эффективности промышленных измерений.*

**Постановка проблемы.** Проблемы экологии в условиях промышленных регионов являются очень важными, так как предприятия, тепловые электростанции сжигают в больших количествах топливо. При сжигании топлива в атмосферу по-

падают диоксид и оксид углерода, оксиды азота и серы, сажа, пыль, а также канцерогенные циклические углеводороды (бензантрацен, холантрен и др.) Более 58 % выбросов диоксида серы образуется при функционировании тепловых электро-

\* Бережной Д.В. – магістр.

\*\* Хламов М.Г. – доцент кафедри електронної техніки, канд. техн. наук, доцент. Донецький національний технічний університет, м. Донецьк.