

**УДК: 637.1:053**

**О. М. СКАРБОВІЙЧУК**, кандидат технічних наук, доцент

**О. А. ЧЕРНЮШОК**, аспірант

**О. В. КОЧУБЕЙ-ЛИТВИНЕНКО**, кандидат технічних наук, доцент

*Національний університет харчових технологій*

**В. Г. ФЕДОРОВ**, доктор технічних наук, професор

*Уманський національний університет садівництва*

## **ЗВ'ЯЗОК ТЕХНОЛОГІЧНИХ І ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МОЛОЧНИХ ПРОДУКТІВ**

*За результатами експериментальних досліджень і аналізу літературних даних про залежність теплопровідності води, незбираного молока та молочних вершків різної жирності від температури визначено однозначну функціональну залежність жирності вершків від їх теплопровідності на інтервалі температури від 15 до 40 °С, яка формалізована розрахунковою формулою для її використання при визначенні жирності вершків в технологічних процесах виробництва молочних продуктів.*

**Ключові слова:** *теплопровідність вершків, ТФХ, технологічні параметри, емпірична залежність, молочні вершки, молоко незбиране.*

*По результатам экспериментальных исследований и анализа литературных данных о зависимости теплопроводности воды, цельного молока и молочных сливок различной жирности от температуры определена однозначная функциональная зависимость жирности сливок от их теплопроводности на интервале температуры от 15 до 40 °С, которая формализована расчетной формулой для ее использования при*

*определении жирности сливок в технологических процессах производства молочных продуктов.*

**Ключевые слова:** *теплопроводность сливок, ТФХ, технологические параметры, эмпирическая функция, молочные сливки, молоко цельное.*

*The pilot studies and analysis of published data on the dependence of thermal conductivity of water, whole milk and dairy cream with different fat content on the temperature is uniquely defined functional dependence fat cream from their heat at the temperature range from 15 to 40 ° C, which formalized the calculation formula for its use in determining the fat content cream in the production processes of dairy products.*

**Keywords:** *conductivity cream, technological parameters, the empirical function, cream, whole milk.*

Встановлення залежності теплофізичних характеристик (ТФХ) молочних продуктів (теплоємність, теплопровідність, ентальпія, в'язкість і т. ін.) від технологічних параметрів ТП (жирність, вологість, кислотність, температура і т. ін.) допомагає наблизити до оптимальних розрахунки процесів і апаратів молочної промисловості. Інформація про деякі ТФХ використовується під час проектування, налагодження та експлуатації обладнання як ТП. Наприклад, основні термічні параметри речовини – температура, тиск, об'єм, маса – є одночасно основними ТП молочного виробництва. Іншими прикладами є інтенсивність теплового оброблення сухого молока, яка за стандартом IDF/ ISO 162:1992 оцінюється методом високороздільної рідинної хроматографії [ 1 ], а також методи визначення температури та ефективності пастеризації молочних продуктів і сировини на основі інактивації ферментів (пероксидаза, фосфатаза) при певній температурі пастеризації за ГОСТ 3623 – 73 [ 2 ].

Ці методи, як і більшість інших способів визначення ТП є досить дорогими та відносно тривалими. Основним недоліком цих методів є неможливість регулювати технологічний процес в режимі «он – лайн» за результатами вимірювання того чи іншого технологічного показника. Пошук експрес – методів визначення ТП, які були б позбавлені цих недоліків, є перспективним та необхідним.

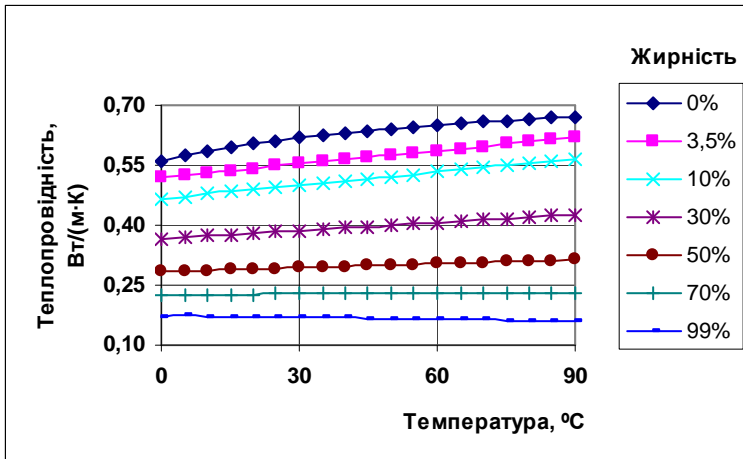
Мета цієї статті – встановлення однозначного зв'язку основної характеристики складу молочних продуктів – жирності  $\mathcal{J}$  (у масових відсотках) – та якоїсь ТФХ, яку можна визначати за досить короткий час. Існуючі стандартизовані методи визначення жиру – кислотний метод Гербера (ГОСТ 5867 – 90) в молоці та молочних продуктах і консервах – вимагають певної кваліфікації лаборанта (на точність визначення в значній мірі впливає людський фактор) та значних витрат часу і ресурсів [ 3 ].

В роботі [ 4 ] наведено результати вимірювання ТФХ різних лабільних матеріалів, в тому числі молочних продуктів, теплотричним експрес – методом. За згодою автора ми скористалися даними визначення теплопровідності  $\lambda$ , Вт/(м·К) для знежиреного молока ( $\mathcal{J} = 0,2$  %) та вершків із  $\mathcal{J} = 10 - 15$  %, що були вироблені на Київському міськмолзаводі № 1 (наведена назва підприємства, зареєстрована на час проведення дослідів), а також вершків із  $\mathcal{J} = 40$  %, вироблених на заводі «Бітерфельд» (м. Кьотен, Германія). Усі дослідні дані було узагальнено у вигляді залежності  $\lambda = f(\mathcal{J}, t)$ :

$$\lambda = (0,525 + 0,00135 t) \cdot (1 - 0,72 \cdot \mathcal{J}) + (0,174 - 0,000155 t) \cdot (1 - 0,72 \cdot \mathcal{J}) \cdot \mathcal{J} \quad (1)$$

Аналіз графіків з [ 4 ], де за аргумент править  $t$ , параметром є  $\mathcal{J}$ , та формули ( 1 ) показав, що залежність  $\lambda(\mathcal{J})$  є значно виразнішою, ніж  $\lambda(t)$ , тому поставили задачу знайти умови, за яких залежність  $\lambda(\mathcal{J})$  була б наближена до функціонального зв'язку. Для більшої узагальненості до даних із [ 4 ] додали залежності теплопровідності від температури  $\lambda(t)$ : формалізовані дані для води Д.Є. Сінат – Радченка [ 5 ]; експериментальні табульовані дані В.М.Пахомова для вершків та молочного жиру вітчизняного виробництва [ 6 ]; розрахункову формулу Л. Ріделя (*Riedel L.*) для незбираного молока [ 7 ].

Аналіз зібраних графіків  $\lambda(t)$  за умови, що  $\mathcal{J}$  змінюється від 0 до 99% (рис.1) підтвердив слабкість залежності  $\lambda(t)$ , а також показав, що ця залежність змінюється із збільшенням  $\mathcal{J}$  від прямо пропорційної до обернено пропорційної.

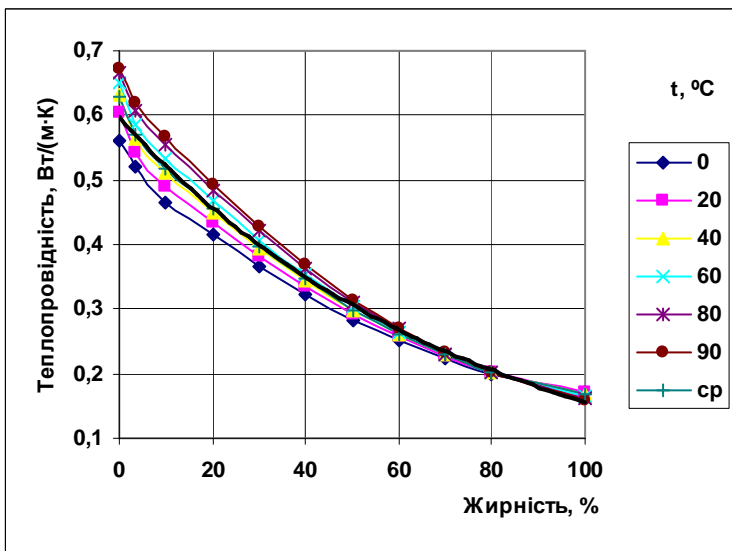


**Рис.1.** Залежність теплопровідності води, молока і вершків різної жирності та жирових сумішей від температури

Тому ці дані було перебудовано: за аргумент взято жирність, а за параметр –

температуру (рис.2). Залежність  $\lambda(\mathcal{J})$  має експоненціальний характер:

$$\lambda = 0,5966 \cdot \exp(-0,0133 \cdot \mathcal{J}) \quad (2)$$



**Рис.2.** Залежність теплопровідності води, молока і вершків різної жирності та жирових сумішей від жирності

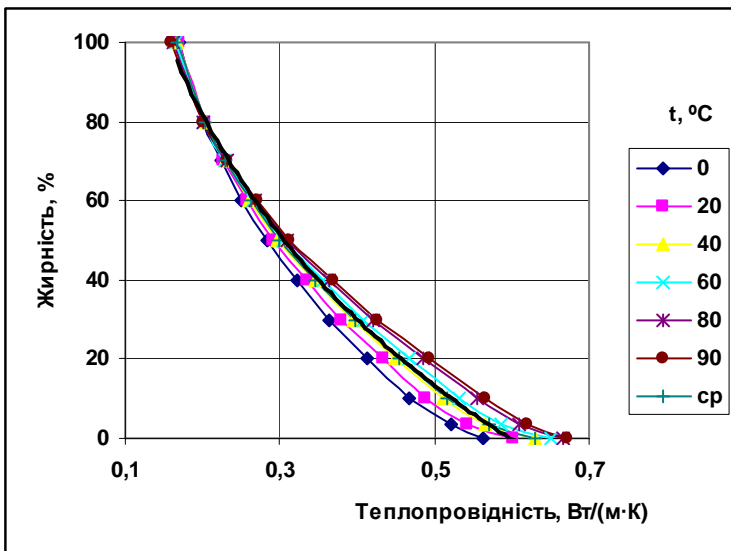
Найбільші відхилення (до  $\pm 7,5$  %) експериментальних даних від узагальнюючої, що відповідає рівнянню кривої (2), маємо для води та

знежиреного молока, для жирних та, особливо, високо жирних вершків воно різко зменшується. Це дає підставу розв'язати інверсну задачу – поміняти місцями аргумент та функцію (рис.3).

Узагальнення усіх наявних даних дає логарифмічну залежність:

$$\mathcal{J} = -74,617 \cdot \ln(\lambda) - 38,361 \quad (4)$$

Для наближення до функціонального зв'язку між  $\lambda$  та  $\mathcal{J}$  звузили діапазон температур від 0 – 90°C до 15 – 40°C – за межі цього діапазону не виходить,

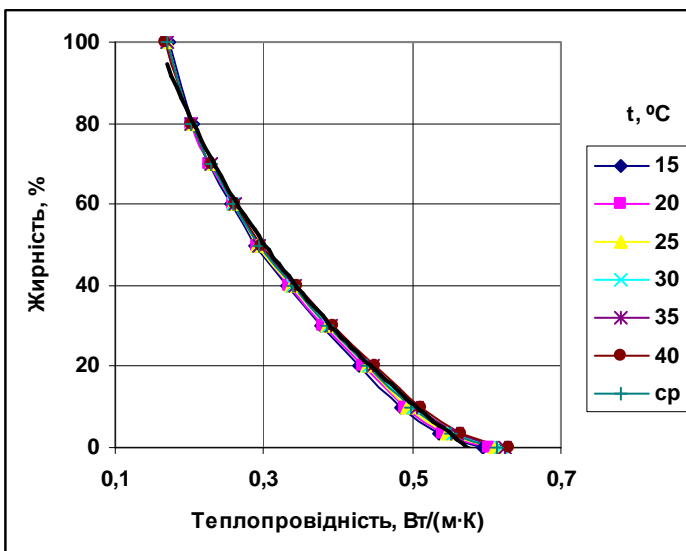


*Рис.3.* Залежність жирності води, молока і вершків різної жирності та жирових сумішей від теплопровідності

наприклад, температура вершків на шляху від збірника до маслоутворювача в процесі поточного виробництва масла. В результаті одержано

залежність, яку можна вважати функціональним зв'язком (рис.4):

$$Ж = -77,369 \cdot \ln(\lambda) - 42,732 \quad (5)$$



*Рис.4.* Залежність жирності вершків від теплопровідності

**Висновки.** Отримана залежність ( 5 ) відкриває можливість визначати жирність широкого спектра молочних продуктів (вершки різної жирності, сметана, вершкове масло, спреди, молочний жир) за величиною теплопровідності  $\lambda$ , величину якої легко визначати теплотричним експрес – методом. Час визначення  $Ж$ , при цьому, скорочується від кількох годин до кількох хвилин, зменшуються й фінансові витрати.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. *Молоко та молочні продукти*. Нормативні документи. – Львів: Леонорм, 2000. Том 3, – с.294
2. *Молоко та молочні продукти*. Нормативні документи. – Львів: Леонорм, 2000. Том 2, - с.30-38
3. *Молоко та молочні продукти*. Нормативні документи. – Львів: Леонорм, 2000. Том 2., с. 100-111.
4. *Федорова О.В.* Удосконалення методів дослідження та прогнозування тепломасопереносу в ізоляційних конструкціях. Автореферат канд. техн. наук. К.: КПІ, 1993, 20 с.
5. *Сінат–Радченко Д.Є.* Фізичні властивості води і повітря в умовах роботи підприємств харчової та мікробіологічної промисловості. – К.: УДУХТ, 2000. – 23 с.
6. *Пахомов В.Н.* Разработка приборов и комплексное исследование теплофизических характеристик лабильных материалов. Автореферат канд. техн. наук. К.: ИТТФ АН УССР, 1980, 21 с.
7. *Riedel L.* Wärmeleitfähigkeitsmessungen an Zuckerlösungen, Fruchtsäften und Milch. – "Chemie – Ingenieur – Technik", v. 21, 1949, 17/18, S. 340-342.
8. *Гуляев–Зайцев С.С.* Физико–химические основы производства масла из высокожирных сливок. – М.: Пищевая промышленность, 1974.– 132 с.