

Зберігання та переробка продукції

УДК 637.127.1.002:536.2
© 2009

О.М. Скарбовійчук,
кандидат технічних наук,
Національний університет
харчових технологій

В.Г. Федоров,
доктор технічних наук,
Уманський державний
аграрний університет

Г.О. Єресько,
академік УААН

Технологічний інститут
молока і м'яса УААН

ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСТКИ ТВЕРДОЇ ФАЗИ І ТЕПЛОТИ ФАЗОВИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ МОЛОЧНОГО ЖИРУ

Показано алгоритмічну реалізацію програмних засобів для розрахунків і оптимізації процесів і обладнання з виробництва вершкового масла. На основі експериментальних даних визначено розрахункові формули для обчислення масової частки твердої фази молочного жиру та теплоти фазових перетворень під час його охолодження і нагрівання, які значно спростили обчислення всіх теплофізичних характеристик жиру.

Створення засобів комп'ютерного проектування і оптимізації процесів та апаратів молочного виробництва потребує аналітичного опису характеристик, значення яких визначаються умовами перебігу процесу або параметрами конструкції апарата [5].

Процес вироблення масла з молочних вершків здійснюється шляхом одночасного зниження їх температури і механічного перемішування в скребковому охолоджувачі [2], що за фізичною суттю є процесом кристалізації молочного жиру, наявного в вершках, а кількість скристалізованої (твердої) фази жиру — показником завершеності процесу маслоутворення [1].

У роботі [4] наведено результати дослідження теплофізичних характеристик (ТВХ) молочного жиру з йодним числом (Й.ч.) 37 за температури фазових перетворень (від $t' = -25$ до $t'' = +37^\circ\text{C}$), де масова частка скристалізованої фази X визначається співвідношенням маси твердого жиру m_s і маси всього жиру m , $X = m_s/m$. Запропоновано методику обчислення X за результатами експериментально визначеної ефективної теплоємності $c_{\text{еф}} = c_0 + l$ молочного жиру, де c_0 — власна теплоємність молочного жиру і l — теплота, що виділяється в процесі кристалізації (або поглинається в процесі плавлення) молочного жиру. Власну теплоємність молочного жиру обчислюють за законом адитивності: $c_0 = c'X + c''(1-X)$, де c' — теплоємність скристалізованого жиру, c'' — теплоємність

рідкого жиру за розрахунковими формулами, наведеними в [3]. Теплоту фазових перетворень l як різницю між ефективною $c_{\text{еф}}$ та власною c_0 теплоємностями представлено графічно на рис. 1.

За наведеними графіками залежності l від температури t під час охолодження (точки, позначені маркером «o») і нагрівання (точки, позначені маркером «+») можна визначити величину X — масову частку скристалізованої фази молочного жиру за формулою:

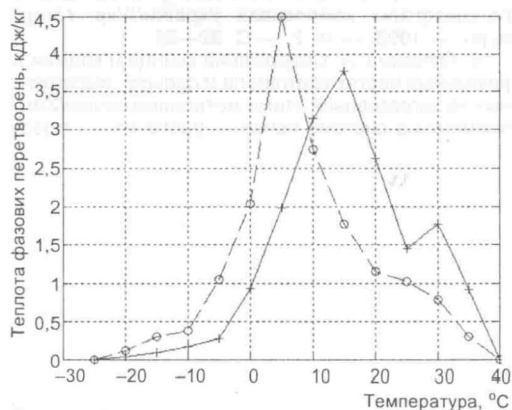


Рис. 1. Залежність теплоти фазових перетворень молочного жиру під час охолодження (перервна лінія) і нагрівання (суцільна лінія)

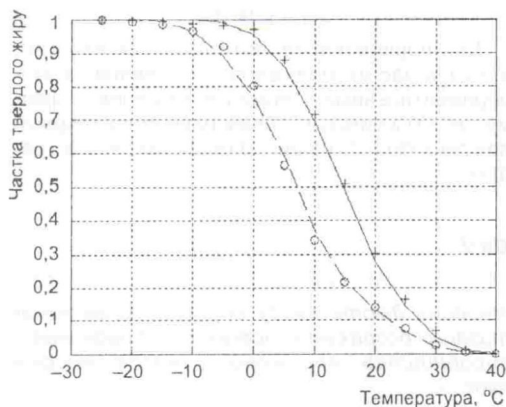


Рис. 2. Залежність частки твердого жиру під час охолодження («o» — експериментальні дані; перервна лінія — розрахунок за формулою (3) і нагрівання («+» — експериментальні дані; суцільна лінія — розрахунок за формулою (4))

$$X = \frac{\int_{t'}^t l dt}{L} = \frac{L - \int_{t'}^t l dt}{L}, \quad (1)$$

де L — повна теплота фазових перетворень за температур від t' до t'' :

$$L = \int_{t'}^t l dt. \quad (2)$$

За розрахунками авторів, $L \approx 84$ кДж/кг. Для практичного визначення залежності X від температури t автори [4] побудували $X - t$ діагра-

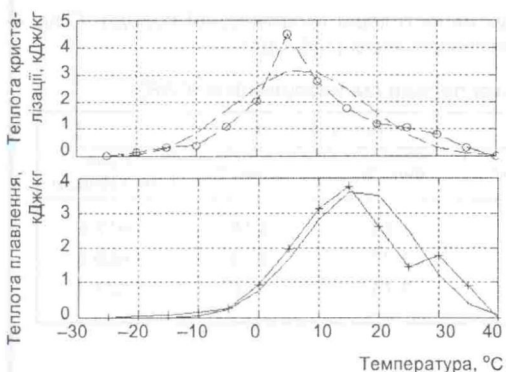


Рис. 3. Залежність теплоти кристалізації («o» — експериментальні дані; перервна лінія — розрахунок за формулами (6) і (8) і плавлення («+» — експериментальні дані; суцільна лінія — розрахунок за формулами (7) і (8))

ми при охолодженні і при нагріванні молочного жиру (рис. 2).

Під час розробки програмно-інформаційних засобів для оптимізації процесів і обладнання з виробництва масла ми створили розрахункові формули залежностей X від температури t за даними цих діаграм, а їх графіки нанесено на рис. 2: перервна лінія — під час охолодження; суцільна лінія — під час нагрівання. Розрахункові формули для обчислення масової частки твердої фази молочного жиру мають вигляд: під час охолодження:

$$X_{\text{ох.}}(t) = \exp\left(-\frac{(31 + 2,5 \cdot t + 0,05 \cdot t^2)^3}{(48 + 1,5 \cdot t)}\right); \quad (3)$$

під час нагрівання:

$$X_{\text{нагр.}}(t) = \exp\left(-\frac{(15 + 1,6 \cdot t + 0,04 \cdot t^2)^3}{(46 + 0,8 \cdot t)}\right). \quad (4)$$

Визначені емпіричні функції (3) і (4) залежності частки твердої фази $X(t)$, $1/K$ відповідно під час його охолодження і нагрівання дають можливість аналітично визначити теплоту фазових перетворень $l(t)$, Дж/(кг·К) у зазначених процесах за їх фізичною суттю:

$$l(t) = L \cdot X'(t). \quad (5)$$

Для цього було визначено похідні від цих функцій за температурою:

$$X'_{\text{ох.}}(t) = -1,11 \cdot 10^{-4} (620 + 50 \cdot t + t^2)^2 \times \frac{(980 + 64 \cdot t + t^2)}{(32 + t)^4} \exp \times \left(-3,7 \cdot 10^{-5} \frac{(620 + 50 \cdot t + t^2)^3}{(32 + t)^3}\right); \quad (6)$$

$$X'_{\text{нагр.}}(t) = -6 \cdot 10^{-3} (375 + 40 \cdot t + t^2)^2 \times \frac{(1925 + 115 \cdot t + t^2)}{(115 + 2 \cdot t)^4} \exp \times (-0,001)(t + 25)^3 \frac{(t + 15)^3}{(115 + 2 \cdot t)^3}. \quad (7)$$

Слід зауважити, що емпіричні функції $X(t)$ є інвертованими за знаком: під час охолоджен-

ня — зі зниженням температури збільшується кількість кристалічної фази; під час нагрівання — з підвищенням температури її кількість зменшується. Оскільки похідні в обох випадках від'ємні, то для обчислення теплоти фазових перетворень $I(t)$ слід використовувати абсолютні значення похідних, тобто:

$$I(t) = L \cdot |X'(t)|. \quad (8)$$

Для порівняння теплоти фазових перетворень під час охолодження і нагрівання за експериментальними даними і обчислених за формулою (5) з використанням наведених формул похідних (6) і (7) на рис. 3 представлено їх графіки.

Висновки

Одержані розрахункові формули залежності масової частки молочного жиру (3) і (4), їх похідних (6) і (7) та теплоти фазових перетворень (8) за температур фазових пере-

творень дають змогу спростити автоматизацію розрахунків процесів і обладнання з виробництва вершкового масла високої якості.

Бібліографія

1. Гуляев-Зайцев С.С. Физико-химические основы производства масла из высокожирных сливок. — М.: Пищевая пром-сть, 1974. — 136 с.
2. Ерьсько Г.А., Скарбовийчук А.М. Оптимизация режимов работы скребковых охладителей// Молочная пром-сть. — 1982. — № 6. — С. 21—23.
3. Пахомов В.Н., Федоров В.Г., Ерьсько Г.А. Теплофизические характеристики молочного жира//

- Пищевая технология. Известия вузов. — 1977. — № 4. — С. 167—171.
4. Пахомов В.Н., Федоров В.Г., Ерьсько Г.А. Теплофизические характеристики молочного жира в области фазовых превращений// Там само. — 1981. — № 6. — С. 95—99.
 5. САПР об'єктів малої енергетики/За ред. В.Г. Сліпченка. — К.: Знання України, 2007. — 216 с.

ВІСТІ З НАУКОВИХ УСТАНОВ

МОЛОЧНА ПРОДУКТИВНІСТЬ КОРІВ ГОЛШТИНСЬКОЇ ПОРОДИ В ПІВДЕННІЙ КОРЕЇ

Узагальнено відомості щодо молочної продуктивності корів голштинської породи. Слід зазначити, що в країні досягнуто високої продуктивності корів (таблиця).

Надій і склад молока корів голштинської породи (за інформацією ICAR)

Порода	Рік	Підконтрольне поголів'я, гол.	Продуктивність			
			Надій, кг	Жир, %	Білок, %	Сума: жир+білок, кг
Голштинська	2003	145942	8899	3,78	3,16	617,6
	2002	134538	8761	3,77	3,19	609,8
	2001	112968	8364	3,74	3,16	577,1

В останні роки в Корей відбувається тенденція до збільшення поголів'я корів голштинської породи та їхньої продуктивності.

М.С. Гавриленко,
кандидат сільськогосподарських наук
Інститут розведення і генетики тварин УААН