

6. ТУ У 46.39.069-95 «Сири розсільні». Технічні умови та технологічна інструкція до нього [Чинний від 1996. – 01 – 11]. – К. Держспоживстандарт України, 1996. – 77 с. – (ТУ України).
7. Васильев В.С. Совершенствование методов интерференционной микроскопии для изучения спермы в зависимости от породы, возраста и плодовитости быков: Автореф. дисс....канд. биол. наук: 03.00.13 / НИИЖ Лесостепи и Полесья УССР. – Харьков, 1978. – 24 с.

УДК 536.423:532.528:637.13

ЯКІСНІ ТА ЕНЕРГЕТИЧНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ ТЕРМОВАКУУМНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ОБРОБКИ МОЛОКА

Іваницький Г.К. д-р техн. наук, с.н.с., Цельн Б.Я. канд. техн. наук, Недбайло А.Є.
Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ

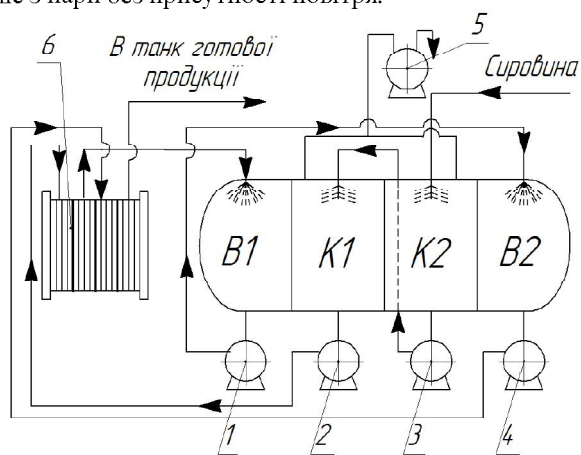
У статті розглянуто технологію термовакuumної обробки молока, описано механізми впливу теплових та гідродинамічних процесів на фізико-хімічні властивості та білкову систему молока. На основі експериментальних та розрахункових даних виявлена принципова можливість зниження енерговитрат в апаратах для цієї технології.

The paper deals technology of thermovacuum processing of milk. The mechanism of influence thermal and hydrodynamical process on physical, chemical and protein system of milk has been described. The principal resources for decreasing energy consumption in apparatus for this technology had been found.

Ключові слова: білки молока, титрована кислотність, термостабільність, термовакuumна обробка, енергозбереження.

Сучасні технології переробки харчових продуктів мають відповідати ряду вимог, основною з яких є забезпечення високої якості продукту при низькому рівні енергоспоживання. Обробка термочутливих біологічно активних рідин, зокрема молока, за технологією термовакuumної обробки (ТВО) рідин характеризується рядом ефектів: підвищенням термостабільності, зниженням титрованої кислотності, покращенням органолептичних якостей, а також пригніченням небажаної мікрофлори. Ці ефекти зумовлені можливістю реалізувати в апараті різні гідродинамічні і термічні впливи, такі як вибухоподібне закипання, кавітація, різке спадання тиску, інтенсивний тепло- та масообмін на межі розділу фаз і мають значний практичний і теоретичний інтерес.

На рис. 1 показано принципову схему роботи апарата для ТВО. Перед запуском апарата в його камери створюють вакуум за допомогою вакуумного насоса 5, тому в процесі роботи газова фаза складається лише з пари без присутності повітря.



1, 2, 3, 4 – продуктивні насоси; 5 – вакуумний насос; 6 – нагрівач; 7 – холодильник;
K1, K2 – камери вакуумування при низьких температурах, B1, B2 – камери вакуумування при високих температурах I і II ступеня

Рис. 1 – Принципова схема роботи апарата для ТВО

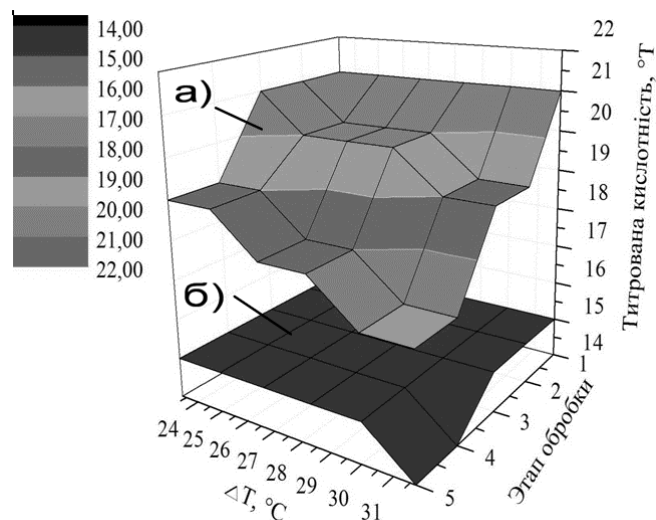
У процесі стабільної роботи тиск пари в камерах апарата визначається умовами випаровування гарячої розпиленої рідини в камерах випаровування або конденсації пари на холодних краплинах розпиленої рідини в камерах конденсації. Вихідна охолоджена рідина з температурою 4-5 °С через розпилювальний пристрій (форсунку) подається на вхід апарата – у камеру вакуумування при низьких температурах K2. Слід зауважити, що витрата рідини залишається постійною протягом усього процесу обробки. Пара, яка надходить з камери вакуумування B2 при високих температурах у камеру K2 через з'єднувальний канал, конденсується на холодних краплинах факела, що забезпечує підвищення температури рідини на виході з камери до значення $T_{K2}^{вих} \approx T_{кип}(P_{K2})$, де $T_{кип}(P_{K2})$ – температура кипіння рідини при тиску в камері K2. За допомогою насоса 3 рідина з камери K2 через трубопровід і форсунку подається на вхід ка-

мери К1. У камері К1 пара, яка надходить через з'єднувальний канал з першої камери вакуумування при високих температурах В1, конденсується на краплинах факела. Внаслідок конденсації пари температура рідини в камері К1 ще більше зростає – до значення $T_{K1}^{aux} \approx T_{кип}(P_{K1})$. З камери К1 рідина насосом 2 подається в нагрівач, де нагрівається до необхідного за умовами технології значення $T_{нагр} = 95$ °С. Після нагрівача рідина під тиском через циліндричний патрубок надходить на вхід першої камери вакуумування при високих температурах В1. Оскільки тиск у цій камері $P_{B1} \ll P_{нас}(T_{нагр})$, всередині циліндричного патрубку відбувається інтенсивне адіабатне закипання рідини, тим інтенсивніше, чим вищий ступінь перегріву $\Delta T = T_{нагр} - T_{кип}(P_{B1})$. Швидке закипання сильно перегрітої рідини в патрубку сприяє інтенсивному зростанню кількості парової фази, а супутні гідромеханічні ефекти забезпечують інтенсивне диспергування рідини. Внаслідок цього рідина надходить у камеру вакуумування при високих температурах у вигляді факела дрібнодисперсних краплин. Разом з рідиною в камеру вводиться певна кількість пари, яка утворюється в результаті закипання. Завдяки високій температурі рідини на вході в камеру ($T_{B1}^{aux} \approx T_{нагр}$) і низькому тиску пари всередині камери відбувається інтенсивне випаровування краплин у перегріту пару. В процесі випаровування в об'ємі камери виділяється велика кількість пари, а рідина на виході з камери В1 охолоджується до температури $T_{B1}^{aux} \approx T_{кип}(P_{B1})$. Надлишок пари з камери через з'єднувальний канал переходить в камеру К1, де конденсується на більш холодних краплинах. Рідина з камери В1 насосом 1 подається на вхід камери вакуумування при високих температурах В2 через циліндричний патрубок у вигляді дисперсного факела, який формується завдяки адіабатному закипання в патрубку. В камері В2 процес випаровування здійснюється за тією самою схемою, що й у камері В1, але за інших значень тиску і температури P_{B2} і T_{B2}^{aux} , відповідно. Надлишок пари, яка утворилась у камері В2, через з'єднувальний канал потрапляє до камери вакуумування при низьких температурах К1, де, як указувалось вище, конденсується на холодних краплинах. З другої камери випаровування рідина з температурою $T_{B2}^{aux} \approx T_{кип}(P_{B2})$ насосом 4 подається в холодильник, де охолоджується до температури $T_{хол} = 4$ °С. На цьому процесі обробки рідини в апараті для ТВО завершується. Десорбовані з рідини нейтральні гази виводяться з обох камер вакуумування при низьких температурах вакуумним насосом 5.

Сукупність процесів цієї технології дозволяє цілеспрямовано керувати властивостями біологічно активних рідин. При переробці молока одним з найважливіших показників його якості є термостійкість, тому її збереження та (або) підвищення є одним з основних завдань обробки молока. Термостабільність молока – здатність зберігати агрегаційну стійкість білків при впливі високих температур – обумовлює не

тільки якість молока, але й можливість його подальшої переробки. В значній мірі ця властивість залежить від титрованої кислотності, рН та фракційного складу білків молока. Зміни даних показників було визначено в рамках дослідження впливу термовакуумної обробки на молоко.

Виявлено, що величина зміни титрованої кислотності залежить від температурного режиму обробки і від початкового значення титрованої кислотності молока (рис. 2). При високих ступенях перегріву і високих значеннях початкової титрованої кислотності спостерігаються найбільші зміни кислотності, які досягають 3-4°Т. Зниження кислотності спостерігається на двох етапах обробки: 1) після камер конденсації та 2) після камер випаровування, причому найбільшими змінами кислотності характеризувалась обробка молока в камерах випаровування. Встановлено, що на цих етапах на молоко мають вплив гідродинамічні ефекти технології: кавітаційні



1 – вихідне молоко; 2 – після камер конденсації, 3 – після пастеризатора; 4 – після випарних камер; 5 – після охолодження,
Початкова кислотність а) 15 °Т; б) 21°Т

Рис. 2 – Зміна титрованої кислотності за етапами обробки в залежності від температури перегріву та величини початкової кислотності

явища при першому зниженні кислотності та сумісна дія адиабатного закипання і гідродинамічної кавітації при другому. Зниження кислотності на цих етапах обробки пояснюється двома чинниками: 1) видалення CO_2 в камерах конденсації та випаровування; 2) структурні зміни води, що спостерігаються при явищі кавітації та адиабатного закипання [1].

При ТВО величина рН зростає у порівнянні з її значенням у вихідному молоці. Найбільше зростання рН спостерігалось при обробці у випарних камерах, де молоко піддається сумісній дії адиабатного закипання та кавітації. Величина зміни активної кислотності (рН) залежить від ступеня перегріву (рис. 3). Слід зазначити, що при обробці молока за традиційною технологією (клапанна гомогенізація з наступною пастеризацією) титрована кислотність та рН практично не змінюються.

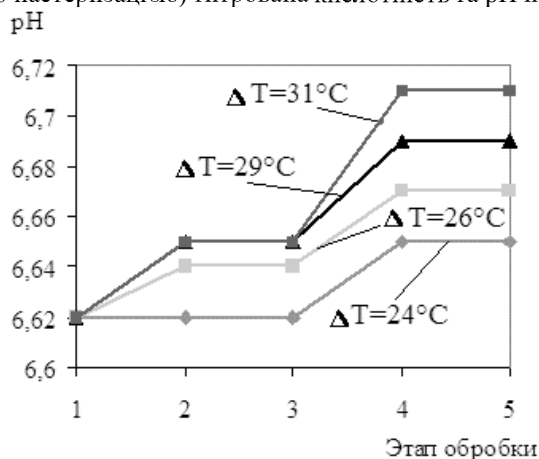


Рис. 3 – Зміна рН молока за етапами ТВО при різних температурах перегріву

Такі зміни в кислотності молока здатні впливати на стан білків. Зростання титрованої кислотності в молоці або зниження рівня рН зумовлено ферментацією лактози у молочну кислоту молочнокислими бактеріями. Ця кислота є слабкою і незначно дисоціює. При її накопиченні збільшується кількість іонів водню, що зумовлює зниження рН системи. Це суттєво впливає на білки молока, знижуючи їх від'ємний заряд, що несуть іонізовані групи, наприклад, карбоксильні. Відповідно до теорії Дерягіна-Ландау-Фервея-Овербека (ДЛФО) стійкість колоїдної системи визначається перевагою електростатичних сил відштовхування молекул над силами притягання. Згідно із сучасними уявленнями, якщо в білковій молекулі не відбулись незворотні конфірмаційні зміни, то, підтримуючи необхідний рівень рН, можна відновити

структуру молекули та підвищити її від'ємний заряд, що призведе до домінування електростатичних сил відштовхування. Можливість фізичними методами за допомогою процесів ТВО впливати на кислотність розчинів, збільшивши в системі концентрацію іонів OH^- , дає змогу відновити первинну рівновагу. Такі зміни в кислотності молока створюють передумови для підвищення від'ємного заряду білків та посилення їх агрегаційної стійкості в розчині.

Іншим аспектом підвищення теплової стабільності молока є вплив на білки в процесі кавітаційної обробки в насосах установки. За рахунок гідромеханічної та термічної дії на білкові структури в кавітаційному кластері і, особливо, безпосередньо біля кавітаційних бульбашок відбувається руйнування міжмолекулярних зв'язків, що приводить до розпаду міцел з високою молекулярною масою. Кавітація також впливає на інактивацію вільних тіольних груп, які відповідають за створення зв'язків між міцелами [2]. Результати проведених нами досліджень фракційного складу білків молока показують, що саме на етапах кавітаційної обробки проходить зменшення білків з молекулярною масою понад 100 кДа. Підвищення термостійкості молока в процесі ТВО підтверджуються проведеними дослідженнями цього показника за алкогольною пробою. В середньому технологія дозволяє підвищити термостійкість молока на 2 групи.

Іншим чинником застосування цієї технології є рівень енергозбереження, якого можна досягнути на виробництві. На основі проведених експериментальних досліджень, результати яких були проаналізовані за допомогою математичної моделі процесів ТВО, яка описує кінетику випаровування краплин факела в камерах вакуумування при високих температурах і конденсацію пари на краплинах факела в камерах вакуумування при низьких температурах [3], було встановлено, що існує додаткова можливість підвищення ефективності роботи апарата і зниження непродуктивних витрат енергії.

На рис. 4 наведено результати порівняння експериментальних і розрахункових значень зміни температури рідини на етапах обробки молока в апараті ТВО. Для зменшення непродуктивних енергетичних витрат необхідно, щоб температура перед входом у нагрівач (температура на виході з камери К1) була максимально наближена до значення температури, яке розраховується по математичній моделі апарата. Така сама умова повинна виконуватись і для температури перед входом у холодильник (температура на виході з камери В2).

При порівнянні отриманих результатів видно, що рідина перед входом у нагрівач суттєво недогріта – на $13\text{ }^\circ\text{C}$, а перед входом у холодильник – перегріта на $4\text{ }^\circ\text{C}$. Причиною цього є недостатньо високий ступінь диспергування рідини в камерах вакуумування при низьких температурах.

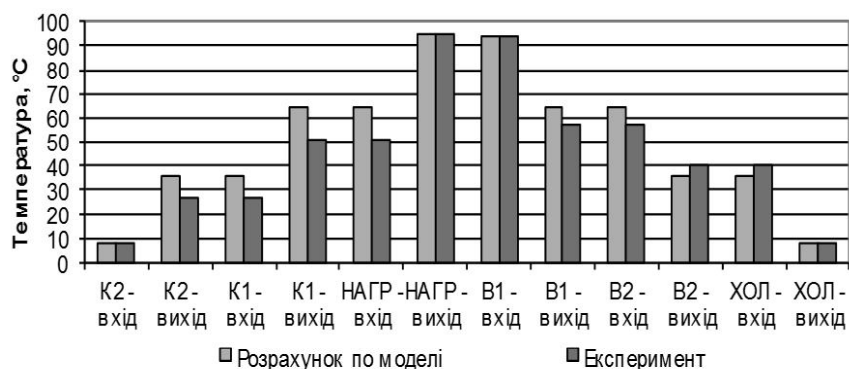


Рис. 4 – Порівняння експериментальних і розрахункових значень зміни температури рідини на етапах переробки за ТВО

Проведений попередній аналіз енергетичної ефективності апарата показав, що для апарата продуктивністю 5 т/годину термодинамічна потужність, яка економиться при нагріванні на 1 К, становить

$$W = Gc\Delta T = 1388 \text{ г/с} \times 4,2 \text{ Дж/(г}\cdot\text{К)} \times 1 \text{ К} = 5,83 \text{ кВт.}$$

У результаті за 1 годину роботи на підвищення температури рідини на 1°C необхідно витратити $E = 5,83 \text{ кВт}\cdot\text{год}$ енергії.

Отже, в ідеальному випадку (за відсутності недогріву) сумарна економія енергії становитиме

$$E_{\text{сум1}} = E \cdot \Delta T = 5,83 \text{ кВт}\cdot\text{год} \times 13 \text{ К} = 75,8 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

Енергія, яка витрачається на нагрівання рідини в нагрівачі в існуючих умовах (від 51°C до 95°C, що також зображено на рис. 4), становить

$$E_{\text{сум}} = 5,83 \text{ кВт}\cdot\text{год} \times 44 \text{ К} = 256,5 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

Отже, витрати енергії при роботі апарата в оптимальному режимі зменшаться на

$$\Delta E_{\text{сум}} = \left(E_{\text{сум1}} / E_{\text{сум}} \right) \times 100\% = (75,8 / 256,5) \times 100\% = 29,6\%.$$

Витрати електроенергії, яка витрачається насосами, становлять:

$$E_{\text{сумнас}} = 26 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

Таким чином, попередній аналіз енергетичних витрат вказує на те, що в цьому апараті економія енергії має суттєве значення для промисловості.

Висновки

Цей спосіб обробки впливає на комплексні зміни фракційного складу білків та фізико-хімічні властивості молока, які підвищують термостійкість та покращують інші важливі технологічні параметри. Перспективним для застосування цієї технології на виробництві роблять також можливості низького енергоспоживання при виробництві продукту.

Література

1. Шурчкова Ю.А. Вода в условиях обработки ДИВЭ [Текст] / Ю.А. Шурчкова // Труды Международной научно-практической конференции «Современные энергосберегающие тепловые технологии СЭТТ – 2011». – Москва-Тамбов. – 2011. – С.436–442.
2. Ashokkumar M. Hot topic: sonication increases the heat stability of whey proteins [Text] / M. Ashokkumar, J. Lee, B. Zisu, R. Bhaskarcharya, M. Palmer, S. Kentish // // Journal of Dairy Science. – 2009. – N 92(11). – P.5353–5356.
3. Иваницкий Г.К. Взаимодействие капель распыленной жидкости с перегретым паром в процессах конденсации и испарения [Текст] / Г.К. Иваницкий, Б.Я. Целень // XXIII научная конференция стран СНГ «Дисперсные системы» Материалы конференции. – Одесса. – 2008. – С.156–157.