

Перспективами подальших досліджень у цьому напрямі є дослідження функціонально-технологічних властивостей СМБК зі сколотин з метою подальшого його використання в технологіях харчових продуктів.

#### Література

- Храмцов, А.Г. Технология продуктов из вторичного молочного сырья промышленности [Текст] / А.Г. Храмцов, С.В. Василисин, С.А. Рябцева, Т.С. Воротникова – СПб.: ГИОРД, 2009. – 424 с.
- Юдіна, Т.І. Розробка молочно-білкового концентрату зі сколотин та його використання в технології продуктів харчування [Текст] : дис. канд. техн. наук: 05.18.16 / Юдіна Тетяна Іллівна. – Х., 2001. – 158 с.
- FAO/WHO. Energy and Protein Requirements. Report of a Joint FAO/WHO ad Hoc Expert Committee, WHO // Techn. Rep. Ser. – 1973. – P. 64-65.
- Kuhnau J. Biochemie des nahrungseiweisses // Angew. Chemie. – 1979. – P. 357-362.
- Mitchell H.H. Biological value of proteins and amino acid interrelationships // Methods for evaluation of nutritional adequacy and status. – 1974. - №2. – P. 13-19.
- Oser B.H. Method for integrating essential amino acid content in the nutritional evaluation of protein // J. Am. Diet. Ass. – 1961. – №27. – P. 396-404.
- Korpaczy J., Kinder K., Varga K. Verbessertes verfahren zur berechnung der biologischen wertigkeit der nahrungseiweisse // Qualitas plantarum et natenae vwgwtabiles. – 1981. – S. 130-135.
- Harper A.E., Amino Acid Toxicities and imbalances // Vituflian Protein Metabolism. – 1984. – V. II. - №13. – P. 87-134.
- Липатов Н.Н. Методы количественной оценки и моделирования аминокислотной сбалансированности продуктов мясной промышленности [Текст] / Н.Н. Липатов // XXXI Европейский конгресс научных работников мясной промышленности. – София, 1985. – С. 15-22
- Липатов Н.Н. Информационно алгоритмические и технологические аспекты совершенствования качества многокомпонентных продуктов питания специального назначения [Текст] / Н.Н.Липатов, О.И. Башкиров, Л.В. Нескоромная // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2002. – № 9. – С. 25–28.

УДК 637.13

## ВПЛИВ АДІАБАТНОГО ЗАКИПАННЯ ТА КАВІТАЦІЇ НА ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ПОКАЗНИКИ МОЛОКА ПРИ ЙОГО ОБРОБЦІ ЗА ТЕРМОВАКУУМНОЮ ТЕХНОЛОГІЄЮ

Шурчкова Ю.О., д-р техн. наук, Целень Б.Я., канд. техн. наук,  
Недбайло А.Є., мол. науковий співробітник, Іваницький Г.К., д-р техн. наук,  
Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ

*Розглянуто принципи використання динамічної дії мікробульбашок у процесах кавітації та скипання в технології термовакуумної обробки рідини. Досліжено комплексний вплив ефектів кавітації та вибухового скипання на якісні показники молока і визначено механізми цього впливу. Доведено, що створення кавітаційних ефектів в апараті не потребує додаткових енергетичних витрат.*

*The use of dynamical effects of microbubbles in cavitation and explosive boiling phenomena in relation to the technology of thermo-vacuum treatment of liquids is considered in this study. The joint influence of both the boiling and cavitation on the important milk quality attributes have been investigated. It was found that the initiation of cavitation effects in the apparatus does not demand any additional energy consumption.*

Ключові слова: термовакуумна обробка, молоко, закипання, кавітація, енергетичні витрати.

В ІТТФ НАН України розроблені технологія і обладнання для термовакуумної обробки молока, що дозволяє підвищувати його термостійкість, знижувати кислотність та покращувати мікробіологічні показники, впливати на дисперсність жирової фази. З наукової та практичної точки зору актуальним є виявлення механізмів отримання таких ефектів.

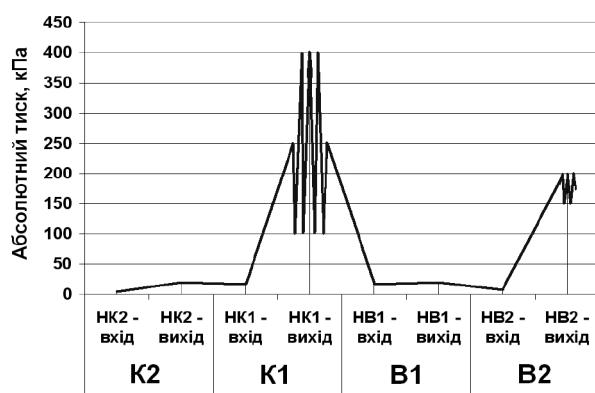
У термовакуумній технології задіяні потужні ефекти динаміки бульбашок, які ініціюються в процесах кавітації та скипання рідини. Проведені дослідження пов'язані з вивченням цих ефектів з метою їх застосування для інтенсифікації тепломасообмінних, гідродинамічних та біохімічних процесів, які відбуваються в апаратах термовакуумної обробки молока [1]. В каналах адіабатного закипання цих апаратів

величини швидкості та прискорення радіального руху рідини на межі з поверхнею бульбашки становлять 4 м/с та  $10^5$  м/с<sup>2</sup> відповідно, а тривалість процесів вимірюється мікросекундами. В зонах кавітації цих апаратів вирішальну роль відіграє стадія максимального стиснення або захлопування бульбашок. Саме на цій стадії досягаються найбільші швидкості та прискорення руху рідини, значення яких досягає 700 м/с та  $8 \cdot 10^{11}$  м/с<sup>2</sup>, відповідно, а тривалість процесів вимірюється в наносекундах.

Просторова та часова масштабність таких процесів визначає напрямленість їх дії на різні дисперсні структури молока і можливість перебудови або руйнування цих структур. Слід брати до уваги такі визначальні фактори. По-перше, деформація і подрібнення мікрочасток завдяки великій відносній швидкості дисперсної фази внаслідок різниці густини обох фаз [2]. По-друге, дія зсуvinих напружень, яка зумовлена різницею дотичних складових швидкості рідини на протилежних сторонах поверхні мікрочастки. Необхідно також враховувати тривалість динамічної дії на дисперсію з боку рідини. Відомо, що час релаксації до повного подрібнення дисперсії пропорційний відбувається в зонах адіабатного закипання, а трансформація білкових структур пов'язана з кавітаційними ефектами кавітації.

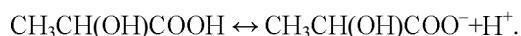
Кавітаційні ефекти, які створюються в чотирьох відцентрових насосах апарату термовакуумної обробки, менш дослідженні ніж динамічні ефекти в зонах адіабатного закипання. Згідно з технічними даними насосів, які застосовані в цій технології, допустимий кавітаційний запас  $\Delta h_{don}$  становить 4 м. Умовою відсутності кавітації при роботі насоса є перевищення його кавітаційного запасу над допустимим значенням ( $\Delta h \geq \Delta h_{don}$ ) [3]. Розрахунки показують, що всі чотири насоси апарату працюють з від'ємним кавітаційним запасом.

Результати розрахунків підтверджено експериментальними дослідженнями. Виявлено, що найбільш нестабільний режим роботи спостерігається в насосах, які відкачують рідину з камер апарату з пониженим тиском ( $p \approx 10$  кПа) в нагрівач і холодильник, де тиск перевищує 100 кПа [4]. Таким чином тиск рідинної суміші різко підвищується на величину  $\Delta p \approx 200$  кПа. На виході з цих насосів спостерігаються пульсації тиску з амплітудою 9100÷400 кПа і частотою близько (1÷2) Гц (рис. 1). Такі режими роботи насосів зумовлюють ініціювання в них кавітаційних ефектів, що підтверджується теоретичними розрахунками і результатами експериментальних досліджень.



**Рис. 1 – Зміна тиску на вході і виході з насосів на етапах обробки рідини в апараті термовакуумної технології.**

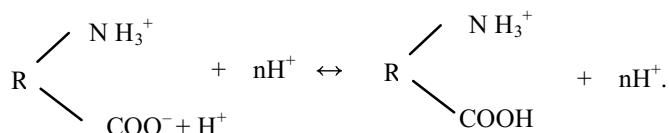
молока, насамперед на білкові структури, стан яких визначається формою і величиною енергії зв'язку молекули з оточуючою водою. Стабільність білкової фракції в молоці залежить від значення водневого показника pH. Зміна водневого показника в молоці відбувається за рахунок діяльності молочнокислих бактерій, що продукують молочну кислоту, яка в свою чергу має здатність до дисоціації:



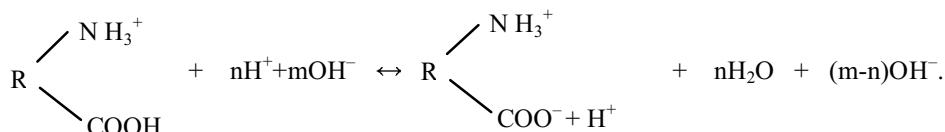
Утворення молочної кислоти приводить до збільшення іонів  $\text{H}^+$  в молоці, що виражається у зниженні величини водневого показника pH. Карбоксильна група білка у свіжому молоці знаходиться в іонізованому стані. Вона несе від'ємний заряд і надає молекулі білка стійкість у колоїдному розчині. Порушення рівноваги за рахунок появи в системі іонів  $\text{H}^+$  призводить до втрати білком від'ємного заряду за рахунок переходу карбоксильної групи в неіонізований стан:

Попередні дослідження термовакуумної обробки природної води показали, що внаслідок сукупної дії ефектів, які створюються в рідинному тракті апарату, pH води зростає на 30 % і зберігається це значення протягом тривалого часу. Це явище пов'язане з видаленням розчиненого у воді  $\text{CO}_2$  в процесах скипання та змінами у структурі води [5]. Основними механізмами впливу на pH води є зростання парових бульбашок, утворення пілкових структур у потоці при його адіабатному закипанні, схлонування бульбашок при кавітації, високі напруження зсуvin в макро- та мікропотоках.

Відомо, що молоко на 87 % складається з води, причому до 75 % води перебуває у вільному стані. Очевидно, що зміна показників води має впливати на дисперсні структури

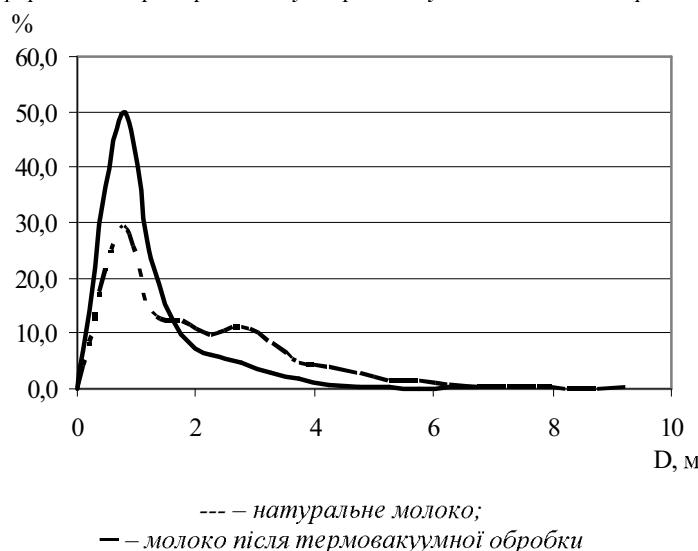


За рахунок динамічної дії бульбашок у процесах вибухового закипання і кавітації відбувається іонізація молекул води з утворенням комплексів  $\text{H}_2\text{O}_2$  та  $\text{H}_2\text{O}_5^+$ , що спричинює зміну рівноваги у напрямку створення лужного розчину та вносить у систему додаткові іони  $\text{OH}^-$ . Такі зміни приводять до переваги кількості іонів  $\text{OH}^-$  над іонами  $\text{H}^+$ , що викликає іонізацію карбоксильної групи білка і повертає йому від'ємний заряд та агрегаційну стійкість у розчині:



Ці висновки підтверджуються результатами дослідження фракційного складу білків молока. Після обробки молока з використанням термовакуумної технології спостерігалось зниження високомолекулярних комплексів білків з масою понад 100 қДа на 3 % і більше, тоді як після обробки молока за традиційною технологією їх кількість збільшувалась на 5 %. Це свідчить про розрив слабких енергетичних зв'язків під час перебування білків у кавітаційних мікропотоках та надання їм стійкості в розчині завдяки підвищенню pH середовища.

Під час обробки молока досягається ефект гомогенізації жирової фази. Проведені дослідження показали, що подрібнення молочного жиру відбувається завдяки дії зсувних напружень у мікропотоках у міжбульбашковому просторі, як у зонах адіабатного закипання, так і в зонах кавітації. На рис. 2 представлена диференційні криві розподілу жирових кульок до і після обробки молока за термовакуумною технологією.



**Рис. 2 – Диференційні криві розподілу жирових кульок у натурульному молоці до і після обробки молока за термовакуумною технологією**

Після термовакуумної обробки розміри більшої частини жирових кульок не перевищують 1 мкм. Найбільші розміри жирових кульок досягають 6 мкм, але таких досить малій відсоток. Крім розмірів отриманих дисперсних частинок показником якості молочної емульсії є відсутність скupчення жирових кульок. За результатами мікроскопічних досліджень у натуральному молоці скupчення жирових кульок спостерігалось в 9 з 10 полів. У молоці, обробленому за термовакуумною технологією, у всіх полях скupчення жирових кульок були відсутні. Це пов'язано з якістю рекомбінованої оболонки жирових кульок, яку формують білки молока. Білки з підвищеним від'ємним зарядом при формуванні поверхневого адсорбційного шару надають йому від'ємного заряду. Такі властивості оболонки жирової кульки визначають стійкість емульсії та перешкоджають злипанню дисперсних частинок.

В отриманні якісної емульсії молока кавітаційні механізми відіграють важливу роль, оскільки вони характеризуються більш високими швидкостями та прискореннями рідини при схлопуванні кавітаційних бульбашок, ніж при зростанні бульбашок у процесах адіабатного закипання, а часовий масштаб таких процесів вимірюється наносекундами. Це обумовлює вплив кавітаційних процесів на зменшення розміру білкових структур, що є важливим при формуванні оболонки жирової кульки.

Комбінація процесів кавітації, адіабатного закипання та термічних ефектів, що протикають в апараті термовакуумної обробки, суттєво впливає на мікробіологічні показники молока. Високий ступінь при-

гнічення мікрофлори в даній технології (на 3,5 – 4 порядки) пов’язаний з різкими перепадами тиску, що, в свою чергу, впливає на стінки клітини мікроорганізмів. Температурний режим обробки також дає свій внесок у пригнічення мікрофлори.

Отже, комплексний вплив процесів закипання та кавітації має визначальне значення при обробці молока за термовакуумною технологією. Крім того, необхідно наголосити, що ініціювання явища кавітації у відцентрових насосах практично не потребує додаткової енергії, про що свідчить детальний аналіз енергетичних витрат на роботу апарату. Встановлено, що витрати енергії на роботу відцентрових насосів, основним завданням яких є перекачування рідини через камери апарату, складають близько 12 % від загальних витрат. Оскільки при розвиненій кавітації падіння ККД насоса не перевищує 4,5 % [6], то величину енергетичних втрат внаслідок кавітаційних явищ у насосах можна вважати незначною, а практика застосування розроблених в ІТТФ НАН України насосів показала їх високу надійність.

### **Висновки**

Результати експериментальних досліджень показали наявність кавітаційних ефектів у технології термовакуумної обробки рідин, які в сукупності з процесами адіабатного закипання, а також термічними процесами чинять значний вплив на фазову структуру молока і його мікробіологічні показники, суттєво не впливаючи при цьому на рівень споживання енергії під час обробки.

### **Література**

1. Долинский А.А., Иваницкий Г.К. Тепломассообмен и гидродинамика в парожидкостных дисперсных системах. Теплофизические основы дискретно-импульсного ввода энергии. – К.: Наукова думка, 2008. – 381 с.
2. Иваницкий Г.К. Разрушение дисперсий в адиабатно вскипающих потоках // Промышленная тепло-техника. – 1999. – № 4-5, Т. 21. – С. 10-15.
3. Каминер А.А., Яхно О.М. Гидромеханика в инженерной практике. – К.: Техника, 1987. – 175 с.
4. Целенъ Б.Я. Тепломассообмін та гідродинаміка при термовакуумній обробці рідин : Автореферат дис. канд. техн. наук, – Київ, 2010. – 21 с.
5. Сланік А.В. Використання механізмів дискретно-імпульсного введення енергії для обробки води : Автореферат дис. канд. техн. наук. – Київ, 2010. – 23 с.
6. Флоринский М.М., Рычагов В.В. Насосы и насосные станции: учебник для вузов. – 3-е изд. – М.: Колос, 1967. – 386 с.

УДК 637.3

## **АНАЛІЗ ГРАНУЛОМЕТРИЧНОГО СКЛАДУ СИРНОЇ ПИЛЮКИ**

**Шинкарик М.М., канд. техн. наук, доцент, Кравець О.І., інженер  
Тернопільський національний технічний університет ім. І. Пуллюя, м. Тернопіль.**

*У статті подано результати досліджень гранулометричного складу сирної пилюки та проаналізовано можливість очистки молочної сироватки шляхом фільтрування*

*In the article the results of researches of particle-size of cheese dust are given and a treatability lactoserum is analysed by filtration*

Ключові слова: молочна сироватка, сирна пилюка, гранулометричний склад, фільтрування

Молочна сироватка є побічним продуктом виробництва твердого сиру, сиру кисломолочного та казеїну. Той факт, що у процесі виробництва перелічених продуктів у сироватку переходить понад 50 % сухих речовин молока, у тому числі 30 % білків [1], дозволяє віднести її до цінної промислової сировини, втрати якої призводять до зниження ефективності переробки молока та додаткового забруднення навколошнього середовища: 1 т молочної сироватки, що потрапляє у каналізацію, за забруднюальною дією на водойми тотовжна  $10 \text{ м}^3$  господарсько-побутових стічних вод [2].

Таким чином, від вирішення завдання використання сироватки безпосередньо залежить подолання проблем комплексної переробки молочної сировини та зменшення забруднюальної дії молокопереробних підприємств на навколошнье середовище.