

УДК 637.134.001.57

## АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ГІПОТЕЗ РУЙНУВАННЯ ЖИРОВИХ КУЛЬОК

Паляничка Н.О., інженер,

Гвоздєв О.В., к.т.н.

Таврійський державний агротехнологічний університет

Тел.(0619) 42-13-06

**Анотація** – робота присвячена аналізу існуючих гіпотез руйнування жирових кульок в процесі гомогенізації молока.

**Ключові слова** - гомогенізація, гіпотеза, жирові кульки, дисперсійне середовище, молоко.

**Постановка проблеми.** Одним із важливих технологічних процесів в молочній промисловості є гомогенізація молока. Гомогенізація використовується при виробництві питного стерилізованого та пастеризованого молока, кисломолочних продуктів, морозива, молочних консервів, виготовленні сиру тощо. Проте сам процес гомогенізації виявився достатньо важким для експериментального вивчення, що призвело до народження безлічі гіпотез гомогенізації [1].

**Постановка завдання.** Метою даної роботи є проведення аналізу існуючих гіпотез руйнування жирових кульок в процесі гомогенізації молока.

**Основна частина.** Сутність процесу гомогенізації полягає в дробленні часток дисперсної фази рідини до розмірів, рівних декільком мікрометрам і їх рівномірному розподілі в її просторі [2]. Стосовно гомогенізації емульсій молока це означає, що жирові кульки молока дробляться, а частки, що утворилися, перемішуються з навколишнім середовищем в масштабах порядку їх розмірів. Це ілюструє зв'язок двоєдиного процесу дроблення часток і їх перемішування в дисперсійному середовищі.

Ступінь гомогенізації  $\xi$  може оцінюватися величиною середнього квадратичного відхилення концентрації жиру  $C$ ; в окремих пробах, що мають лінійні розміри (масштаби) та рівні 1,5...2 діаметрам вихідних жирових кульок, від середньої концентрації жиру  $C$  у молоці

$$\xi = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(C_i - C)^2}{(n-1)}}; \quad (1)$$

де  $n$  - число узятих для аналізу проб.

Ступінь гомогенізації молока залежить:

- від вибраного масштабу її оцінки;
- від відстаней, на які переміщуються частки жирових кульок після їх подрібнення;
- від співвідношення розмірів жирових кульок і масштабу оцінки гомогенізації.

Особливістю взаємодії часток дисперсної фази з збуреннями дисперсійного середовища є те, що частинки не тільки дробляться, але і переміщуються в просторі, забезпечуючи таким чином виконання всіх етапів процесу гомогенізації. Це дозволяє звести практично у всіх випадках оцінку гомогенізації продукту до оцінок дроблення часток.

Основними гіпотезами гомогенізації є:

- руйнування під впливом дії повздовжнього градієнта швидкості потоку при вході у клапанну щілину (М.В. Барановського);
- руйнування під впливом поперечного градієнту швидкості потоку у клапанній щілині (Ребіндера і Віттінга);
- руйнування за рахунок відцентрової сили при обертальному русі жирової кульки у градієнтному полі швидкостей (В.Д. Суркова);
- руйнування за рахунок кавітації;
- руйнування здуванням мікрочасток з поверхні жирової кульки (М.М. Орешіної);
- гіпотеза субкавітаційної гомогенізації (Є.А. Фіалкової).

Крім основних гіпотез було запропоновано безліч різноманітних версій фізичного механізму процесу гомогенізації при подрібненні жирових кульок в клапанних гомогенізаторах, котрі не знайшли широкого розповсюдження [3].

Зомер вважав, що диспергування жиру можливе в результаті удару струменя молока о бічні стінки гомогенізуючого клапана [4]. Вона призвела до того, що довгий час гомогенізуючі насадки конструювались для одержання найбільш виражених ударів. Однак, експерименти показали, що гомогенізація може проходити і без удару струменя. Разом з тим, як вказує Вайткус, не можна заперечувати позитивного впливу удару на руйнування скупчень жирових кульок, що утворилися, наприклад при гомогенізації вершків [5].

По другій гіпотезі диспергування жиру пояснюється розрізанням жирових кульок при проходженні їх через гомогенізуючу щілину, висота якої менше діаметра основної маси жирових кульок [4]. Однак і ця гіпотеза не витримала критики. В подальшому Барановський розрахував висоту клапанної щілини і вияснилося, що

вона в декілька десятків раз перевищує середній розмір жирової кульки. Розрізання жирових кульок при вході рідини в щілину клапана також не підтвердилось численними спробами гомогенізації холодного молока, коли жир знаходиться в твердому стані.

Також існували спроби пояснити диспергування жирових кульок вибухом [4], що відбувається в стиснутій рідині, яку раптово звільнили від тиску. Однак, відомо, що стискальність жиру і рідини дуже мала, тому дія вибуху при раптовому припиненні тиску недостатня, щоб подолати сили поверхневого натягу оболонки жирової кульки.

Згідно теорії Барановського жирова кулька молока деформується (витягується) в місці входу молока в зазор між клапаном і сідлом, а потім розпадається під дією сил поверхневого натягу [6].

Швидкість жирової кульки при гомогенізації змінюється від досить малої початкової швидкості  $V_0$  (кілька метрів за секунду) у каналі сідла діаметром  $d$  до досить великої  $V_1$  (кілька сотень метрів за секунду) в клапанній щілині висотою  $h$  (рис. 1.). Жирова кулька спрямовується спочатку по каналу сідла зі середньою швидкістю  $V_0$ , змінює напрямок і рухається до граничного перетину зі швидкістю  $V_0$ , яка значно менше  $V_1$ . При переході від малих швидкостей до високих в жировій кульці відбуваються внутрішні деформації; його передня частина включається в потік у гомогенізуючої щілині з великою швидкістю  $V_1$  витягується в нитку і роздрібнюється в вигляді дрібних крапельок в результаті дії сил поверхневого натягу.

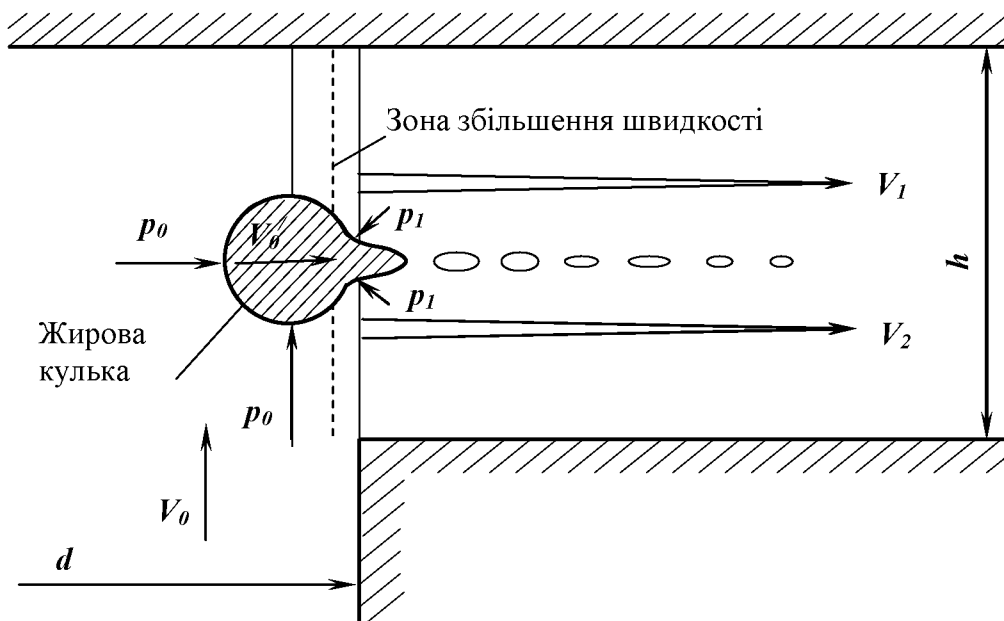


Рис. 1. Схема гомогенізації по Барановському

Швидкому витягуванню жирової краплі і відриву від неї дрібних часточок сприяє гідродинамічний тиск на кульку  $P_0$ , що з боків і за краплею значно більше тиску  $P_1$  в зоні високих швидкостей. Здавлювання краплі, що відбувається при цьому сприяє видавлюванню рідкого молочного жиру вперед. Таким чином, ефективність гомогенізації залежить, насамперед, від швидкості потоку  $V_1$  при вході рідини в клапанну щілину, а, отже, і від тиску гомогенізації, величина якого завжди визначає швидкість. При підвищенні тиску швидкість  $V_1$  збільшується пропорційно квадратному кореню з перепаду тиску  $\Delta P$ . На думку Барановського, такі фактори, як середній градієнт швидкості по перетині потоку в гомогенізуючому клапані, довжина гомогенізуючої щілини, швидкість потоку на виході із щілини і удар струменя, не роблять помітного впливу на ефективність процесу.

По гіпотезі Ребіндера (а згодом і Віттінга) [3] причиною деформації і подрібнення жирових кульок молока вважається великий градієнт швидкості руху молока в гомогенізуючій головці. Під дією сил, які діють зі сторони потоку, жирові кульки розтягуються в циліндри, або, нитки, переборюючи сили поверхневого натягу і переходячи в нестійкий стан, а потім, під дією тих же сил поверхневого натягу, розпадаються на більш дрібні жирові кульки. Ребіндер встановив, що розпад крапель відбувається при відношенні довжини циліндра до діаметра рівному, чи більшому  $\pi$ .

Професор Сурков [7] висунув свої припущення з приводу подрібнення жирових кульок. Він припустив, що в щілинному каналі жирові кульки повинні обертатися і розпадатися за рахунок доцентрової сили. Його гіпотеза побудована на дії поперечного градієнту швидкості, в потоці, який має різні швидкості в поперечному перерізі. На думку автора, до поверхні кульки, яка опинилася на границі шарів, прикладений крутний момент, який викликаний різницею швидкостей. Під дією цього моменту кожна кулька, яка здійснює обертовий рух, втрачає свою початкову форму, далі доцентрові сили зростають, стають більшими за сили поверхневого натягу, після чого кулька розпадається на більш дрібні. Сурков припускав, що існуючі швидкості потоку в гомогенізаторах (близько 100 м/сек.) можуть зумовлювати як ламінарний, так і турбулентний потік рідини в гомогенізуючій насадці. Він встановив, що ламінарний режим потоку кращий, так як розрахований ним діаметр жирової кульки після гомогенізації при ламінарному потоці майже в 3 рази менше ніж при турбулентному.

В подальшому Фроловим, Арсентьевим і Куцаковим [8] був проведений детальний аналіз існуючих гіпотез природи механізму гомогенізації, що дозволило виділити 3 основних гіпотези. Згідно

першої гіпотези руйнування жирових кульок відбувається в момент розгону суміші перед входом в клапанну щілину за рахунок великого градієнту швидкості. По другій гіпотезі Архімедова сила, яка виникає за рахунок різниці густини жиру та плазми, є фактором, який руйнує кульки перед входом в мікросщілину. По третій гіпотезі подрібнення кульок відбувається в самій щілині за істотного впливу в'язкості.

На основі експериментальних даних був зроблений висновок, що в'язкість суміші і різниця густини жиру та плазми не впливають на гомогенізацію. Таким чином підтверджується справедливність тільки першої теорії (Барановського).

Незважаючи на те, що в свій час висловлювалися заперечення проти кавітаційної теорії гомогенізації, останні теоретичні і експериментальні дослідження інституту Технічної Теплофізики НАН України переконливо показали, що кавітація може бути рухомою силою процесу на основі чого вони сконструювали свою гомогенізуючу установку адіабатного скипання молока в вакуумі.

Фізико-математична модель кавітаційного диспергування (теорія Ткаченко) [9] полягає в захваті пульсуючим кавітаційним пухирцем жирової краплі, яка в свою чергу швидко рухається до пухирця (рис.2, а). В момент зіткнення жирової краплі з пухирцем він деформується, а потім захоплюється з утворенням кумулятивного струменя, який утворюється зі сторони жирової краплі. Струмінь втягує краплю до пухирця, розтягуючи в нитку і подрібнює її. Утворення кумулятивного струменя в пухирці з протилежної сторони від жирової краплі (рис. 2, б) руйнує краплю на дві чи більше частин.

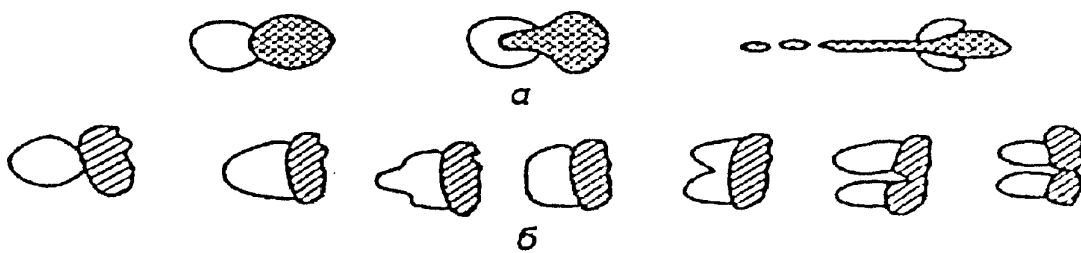


Рис. 2. Схема процесу кавітаційного диспергування:

*а* – втягування жирової краплі в пухирець; *б* – руйнування жирової краплі дисперсної фази

Діаметр утворених крапель залежить від міжфазового поверхневого натягу, діаметру кумулятивного струменя і його швидкості, яка в свою чергу залежить від радіусу кавітаційного пухирця.

Завдяки теорії Ткаченко легко пояснюється той факт, що при

появі кавітації істотно змінюється залежність між ступенем гомогенізації та енерговитратами. При тій самій енергії, що підводиться, гомогенізація стає більш ефективною [9].

Орешиною [10] була висунута гіпотеза дроблення краплі здуванням мікрочасток. Згідно неї жирова кулька розглядається як крапля, що рухається і подрібнюється по аналогії з тим, як крапля води подрібнюється в інтенсивному потоці повітря. Дійшли висновку, що стадії руйнування під дією ударних імпульсів виглядають таким чином. Спочатку крапля деформується у дископодібне тіло, потім її центральна частина витягується у купол, поверхня куполу проривається, а тор, що залишився, розпадається на ланцюжок крапель. Величина імпульсів, достатня для руйнування крапель, дорівнює 0,5 – 0,7 МПа. На експериментальному пристрої, що поєднує принципи ударних та ультразвукових коливань, середній розмір жирових кульок при гомогенізації молока досягає 0,5 мкм.

Фіалковою висунута нова гіпотеза скловання жирових кульок молока в процесі субкавітаційного диспергування, згідно якої у зонах високих швидкостей гомогенізаторів (наприклад, клапанного), тиск рідини знижується до значень, при яких відбувається сублімація жирових кульок – перехід їх у твердий стан і розкрошування на більш дрібні частки [3]. У підтвердження своєї теорії приводиться поле швидкостей у зазорі клапанного гомогенізатора, де відмічені зони зниженого тиску.

**Висновки.** Отже проведений аналіз показує, що існуючі теорії механізмів гомогенізації, як правило, не розкривають дійсного механізму дроблення та зв'язків між параметрами, що характеризують процес дроблення. Більшість гіпотез носить теоретичний характер, а іноді просто є умоглядними, тобто не можуть претендувати на вірогідність без експериментального підтвердження.

#### Література

1. Гвоздєв О.В. Проектування імпульсного гомогенізатора молока / О.В. Гвоздєв, Н.О. Паляничка, І.В. Ляшок // Праці Таврійської державної агротехнічної академії.- Мелітополь: ТДАТА.- 2007. – Вип. 7., Т.5. – С.85-92.
2. Малахов Н.Н. Процессы и аппараты пищевых производств.- Орловский государственный технический университет / Н.Н. Малахов.- Орел, 2001.-687с.
3. Фіалкова Е.А. Гомогенизация. Новый взгляд: Монография-справочник / Е.А. Фіалкова. – СПб.:ГИОРД, 2006-392с.
4. Барановский Н.В. Влияние гидравлических факторов на степень дисперсности жира при гомогенизации молока: дис.канд. техн. наук/ Н.В. Барановский.- М., 1965

5. *Вайткус В.В.* Гомогенизация молока / В.В. Вайткус.-М.:Пищевая промыш-шленность,1967.-215с.
6. *Барановский Н.В.* Гомогенизация молока в клапанном гомогенизаторе / Н.В. Барановский // Молочная промышленность. – 1957. - № 18 (2). – С. 92-33.
7. *Сурков В.Д.* Закономерности гомогенизации в сфере равновесия центробежных и поверхностных сил / В.Д. Сурков //Труды МТИММПа. – 1954. – С. 85 – 92.
8. *Фролов С.В.* Механизм гомогенизации применительно к молочнорастительным смесям/ С.В. Фролов, Т.П. Арсентьева, В.Е. Куцакова// Хранение и переработка сельхозсырья. – 2001. - №8 – С. 11-14.
9. *Лонцин М.* Основные процессы пищевых производств / Под ред. д-ра техн. наук, проф. Рогова И.А.: Пер. с англ. Евтеевой Ф.Н. – М.: Лёгкая и пищевая пром-сть, 1983. – 279с.
10. *Малахов Н.Н.* Механизмы дробления жира при гомогенизации молока / Н.Н. Малахов, М.Н. Орешина // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2000. - №7. – С. 33 – 34.

## **АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ГИПОТЕЗ РАЗРУШЕНИЯ ЖИРОВЫХ ШАРИКОВ**

А.В. Гвоздев, Н.А. Паляничка

***Аннотация*** - работа посвящена анализу существующих гипотез разрушения жировых шариков в процессе гомогенизации молока.

## **THE ANALYSIS OF EXISTING HYPOTHESES OF DESTRUCTION OF FAT BALLS**

O.Gvozdev, N. Palyanichka

### ***Summary***

**Work is devoted the analysis of existing hypotheses of destruction of fat balls in the course of milk homogenization.**