

УДК 637.134
© 2016

К.О. САМОЙЧУК,
кандидат технічних наук

Л.В. ЛЕВЧЕНКО,
аспірант

Таврійський державний
агротехнологічний університет,
Україна
E-mail: samanya_kir@mail.ru
м. Мелітополь, пр. Б. Хмельницького, 18

АНАЛІТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ УМОВ ДИСПЕРГУВАННЯ ЖИРОВОЇ ФАЗИ МОЛОКА В ПУЛЬСАЦІЙНОМУ ГОМОГЕНІЗАТОРІ

На основі критерію руйнування Вебера розроблена модель диспергування жирової фази молока в пульсаційному гомогенізаторі, яка дає можливість визначити прискорення емульсії – ключовий фактор, для знаходження ступеня гомогенізації молока. Доведено, що для підвищення ступеня диспергування необхідно зменшувати площу живого перетину поршня і підвищувати частоту та амплітуду його коливання.

Ключові слова: диспергування, гомогенізація, молоко, пульсаційний гомогенізатор, швидкість, прискорення.

Постановка проблеми. Одним із важливих технологічних процесів у молочній промисловості є гомогенізація молока. Гомогенізоване молоко має безліч переваг, а якість продуктів з використанням його набагато вища. Тому гомогенізація стала нормативним процесом у більшості сучасних технологічних схем виробництва питного стерилізованого та пастеризованого молока, кисломолочних і багатьох інших продуктів.

У зв'язку з розвитком технологій до гомогенізованих компонентів висуваються підвищені вимоги щодо дисперсності кінцевого продукту. Основною технічною проблемою одержання тонкодисперсних емульсій є обмеженість можливостей гомогенізаторів. Тому в умовах сучасних ринкових відносин жорсткої конкуренції, створення пристроїв, призначених для одержання емульсій з високим ступенем дисперсності та зі зниженими енерговитратами, має підвищену актуальність [1, 2].

Аналіз останніх досліджень. Для гомогенізації молока і молочних продуктів пере-

важно використовують клапанні гомогенізатори. Проте аналіз конструкцій таких гомогенізаторів показав, що вони мають істотні недоліки: значні габаритні розміри і масу, високу металоемність та енергоємність, швидкий знос робочих поверхонь клапана і досить високу вартість обладнання. Інші види існуючих гомогенізаторів або ж не дозволяють досягти такого ступеня дисперсності жирової фази, або мають значні недоліки, наприклад високі енерговитрати.

Згідно з останніми дослідженнями перспективною в цьому сенсі є пульсаційна (імпульсна) гомогенізація, яка дозволяє отримати ступінь диспергування, який не нижче, ніж у клапанних гомогенізаторів, зі значно меншими енерговитратами [3].

Під час пульсаційної гомогенізації спрацьовує механізм подрібнення жирових часток [4, 5]. Унаслідок коливальних рухів дисперсійне середовище захоплює в рух жирову частку й з урахуванням цього формується відносний рух середовища і частки. Середовище, рухаючись відносно поверхні жи-

рової кульки, впливає на її поверхню за рахунок декількох факторів: гідростатичного тиску, дотичних і нормальних напружень, кавітаційних ефектів і сил інерції. Найбільш суттєвий вплив на жирову кульку в процесі пульсаційної гомогенізації мають сили інерції, оскільки вони сприяють виникненню градієнта швидкості.

Формування цілей статті (постановка завдання). Для пульсаційного гомогенізатора одним з найважливіших завдань є визначення взаємозв'язку конструктивно-кінематичних його параметрів з інтенсивністю впливу на жирову кульку, що оцінюється ступенем гомогенізації, тобто дисперсними показниками емульсії після гомогенізації. У дослідженнях процесу гомогенізації у пульсаційних апаратах розкриттю цій задачі приділено недостатню увагу [4], або рішення представлене у вигляді емпіричних рівнянь і лише для випадку використання двопоршневого гомогенізатора [6]. Тому **метою статті обрано** побудову математичної моделі процесу диспергування жирової емульсії молока під час пульсаційної гомогенізації в класичному апараті з одним поршнем (поршнем-ударником).

Результати дослідження та їх обговорення. У пульсаційному гомогенізаторі процес диспергування молочної емульсії буде відбуватися в два етапи, а саме: в отворах і каналах поршня-ударника (за типом клапанної гомогенізації) та при виході струменів з отворів і кільцевого каналу поршня-ударника за рахунок утворення градієнта швидкості (тип струминної гомогенізації).

Отже, для пульсаційної гомогенізації застосовною є теорія руйнування за критерієм Вебера (We), що визначає співвідношення градієнта швидкості за виразом [7, 8]

$$We = \frac{\rho_c \cdot u^2 \cdot d_k}{\sigma}, \quad (1)$$

де ρ_c – густина оточуючого середовища, кг/м³;
 u – відносна швидкість краплі та оточуючого середовища, м/с ;

d_k – критичний діаметр частки, м;

σ – поверхневий натяг краплі, Н/м.

У пульсаційному гомогенізаторі швидкість потоку молока головним чином зале-

жить від амплітуди коливання поршня і частоти коливань. Тільки визначення залежності швидкості від параметрів пульсаційного гомогенізатора дасть можливість перейти до визначення ефективності гомогенізації.

Емульсія, що витісняється поршнем при його коливальних рухах $Q_o(t)$, проходить крізь отвори поршня (рис. 1).

Тоді на основі умови нерозривності потоку:

$$Q_n(t) = Q_o(t), \quad (2)$$

де $Q_o(t)$ – витрата емульсії крізь отвори поршня за рахунок осьових коливань ротора, м³/с;
 t – час, с.

За постійної частоти обертання кривошипа $n = const$, рівняння (2) можна представити у вигляді

$$Q_n(\alpha) = Q_o(\alpha). \quad (3)$$

За відомою формулою

$$Q_o(\alpha) = v_o(\alpha) \cdot F_o, \quad (4)$$

де $v_o(\alpha)$ – швидкість емульсії крізь отвори поршня, м/с;

F_o – площа отворів, м².

Площа отворів дорівнює

$$F_o = N \frac{\pi d_o^2}{4}, \quad (5)$$

де N – кількість отворів поршня;

d_o – діаметр отвору, м.

Витрата емульсії при русі поршня на величину y (рис. 1) у будь-який момент часу

$$Q_n(t) = v_n(t) \frac{\pi D^2}{4}, \quad (6)$$

де $v_n(t) = dy/dt$ – швидкість руху поршня вздовж осі обертання, м/с.

D – діаметр ротора, м.

Для простих синусоїдальних коливань при $r / L_w \rightarrow 0$ (довжина шатуна кривошипного механізму L_w набагато більша за радіус кривошипу r , що становить до 10 мм) можна записати, що

$$\frac{dy}{dt} = v(t) = \pi n_s \cdot \sin \alpha, \quad (7)$$

де s – амплітуда коливань ротора $s = 2r$, м.

З урахуванням рівнянь (4–7) умову нерозривності потоку (2) запишемо у вигляді

$$2\pi r n \cdot \sin \alpha \frac{\pi D^2}{4} = N \frac{\pi d_o^2}{4} v_o.$$

ЗБЕРІГАННЯ ТА ПЕРЕРОБКА С.-Г. ПРОДУКЦІЇ

Аналітичні дослідження умов диспергування
жирової фази молока в пульсаційному гомогенізаторі

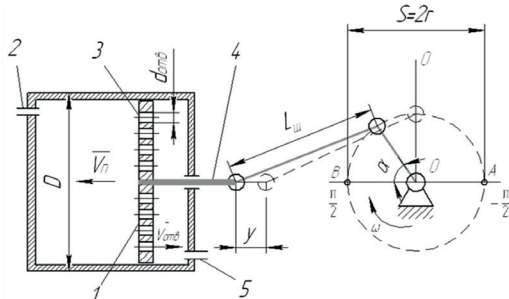


Рис. 1. Схема пульсаційного гомогенізатора: 1 – поршень; 2 – патрубок для відведення емульсії; 3 – отвори поршня; 4 – регульований кривошип; 5 – патрубок подачі емульсії

Отже, швидкість руху емульсії крізь отвори поршня, як функцію від кута повороту кривошипа, можна записати так

$$v_o = \frac{2\pi r n D^2}{d_o^2 N} \sin \alpha.$$

Кількість отворів ротора пов'язана з діаметром ротора та діаметром отворів співвід-

ношенням, яке випливає з очевидних геометричних перетворень

$$\frac{\pi D^2}{4} K_o = N \frac{\pi d_o^2}{4},$$

або

$$D^2 K_o = N d_o^2,$$

де K_o – коефіцієнт живого перетину отворів поршня; $K_o \approx 0,3 \dots 0,7$.

$$K_o = F_o / F_n, \quad (8)$$

де F_n – площа поршня, m^2 .

З урахуванням рівняння (8) швидкість в отворах поршня дорівнює

$$v_o = \frac{2\pi r n}{K_o} \sin \alpha. \quad (9)$$

Для останнього рівняння графік швидкості емульсії за радіусів кривошипа 10, 30 та 50 мм. представлений на рис. 2,а. Найбільшого значення функція набуває при радіусі кривошипа $r = 50$ мм.

За критерієм Вебера ступінь диспергування жирової фази пропорційна швидкості ковзання жирової кульки. Але швидкість

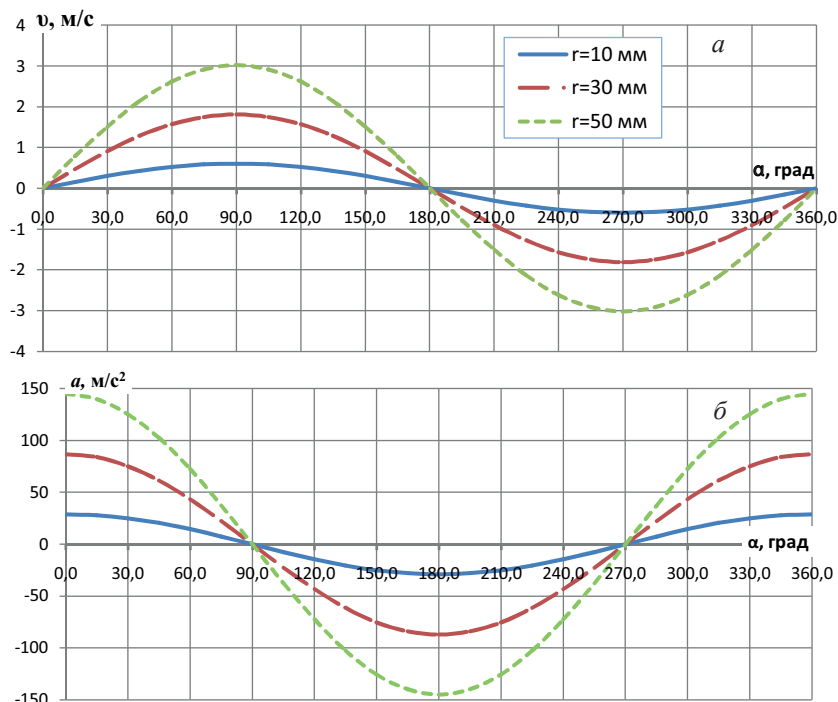


Рис. 2. Швидкість емульсії (а) та прискорення її (б) за різних радіусів кривошипа

ЗБЕРІГАННЯ ТА ПЕРЕРОБКА С.-Г. ПРОДУКЦІЇ

Аналітичні дослідження умов диспергування
жирової фази молока в пульсаційному гомогенізаторі

руху емульсії не визначає швидкість ковзання жирової кульки. Ковзання підвищується у разі різких змін швидкості, тобто за появи прискорення емульсії. Тому шляхом диференціювання за часом знайдемо прискорення руху емульсії в отворах поршня

$$a_o = \frac{dv_o}{dt} = \frac{2\pi r n}{K_o} \sin \omega t = \frac{2\pi r n}{K_o} \omega \cos \omega t = \frac{4\pi^2 n^2 r}{K_o} \cos \alpha .$$

Для останнього рівняння графік прискорення емульсії для радіусів кривошипа 10, 30 та 50 мм зображено на рис. 2,б.

Як для швидкості руху емульсії, так і для його прискорення в отворах поршня найбільші значення отримані при радіусі кривошипу $r = 50$ мм.

Аналізуючи графіки, можна стверджувати, що якість подрібнення жирових кульок, тобто ступінь гомогенізації, безпосередньо залежить від прискорення емульсії молока при проходженні крізь отвори в поршні.

У такий спосіб максимальні умови для подрібнення жирових кульок молока створюються при $(n, r) \rightarrow \max$ і $K_o \rightarrow \min$.

Висновки

Отримані аналітичні залежності, що пов'язують швидкість та прискорення емульсії в отворах поршня пульсаційного гомогенізатора з основними його конструктивно-кінематичними параметрами: діаметром поршня, амплітудою та частотою його коливання, кількістю і діаметром отворів у поршні. Ступінь диспергування є пропорційним прискоренню емульсії в отворах поршня.

Тому для підвищення ступеня диспергування необхідно зменшувати площу живого перетину поршня і підвищувати частоту та амплітуду його коливання. Визначення рівнянь для знаходження прискорення жирової емульсії є ключовим для створення математичної моделі руйнування жирових кульок у пульсаційному гомогенізаторі молока.

Бібліографія

1. Фиалкова Е.А. Гомогенизация. Новый взгляд: монография-справочник / Е.А. Фиалкова. – СПб.: ГИОРД, 2006. – 392 с.
2. Нужин Е.В. Гомогенизация и гомогенизаторы: монография / Е.В. Нужин, А.К. Гладушняк. – Одесса: Печатный дом, 2007. – 264 с.
3. Орешина М.Н. Разработка импульсно-гомогенизатора на основе исследования дробления жировых шариков молока: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.12 / М.Н. Орешина. – Орёл, 2001. – 126 с.
4. Орешина М.Н. Импульсное диспергирование многокомпонентных пищевых систем и его аппаратная реализация: автореф. дис. на соиск. ученой степени доктора техн. наук: 05.18.12 / Н.М. Орешина. – М., 2010. – 50 с.
5. Гвоздєв О.В. Обгрунтування параметрів імпульсного гомогенізатора молока /

О.В. Гвоздєв, Н.О. Паляничка // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь, 2011. – Вип. 11, т. 6. – С. 191–197.

6. Паляничка Н.О. Модель подрібнення жирової фази молока при імпульсній гомогенізації / Н.О. Паляничка // Праці ТДАТУ. – Мелітополь, 2014. – Вип. 14, т. 1. – С. 24–29.

7. Лонцин М. Основные процессы пищевых производств / М. Лонцин, Р. Меерсон; под ред. И.А. Рогова; пер. с англ. Ф.Н. Евтевой. – М.: Лёгкая и пищевая промышленность, 1983. – 279 с.

8. Самойчук К.О. Ефективність гомогенізації молока в пульсаційному апараті з вібруючим ротором / К.О. Самойчук, А.О. Івженко // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка. – Харків, 2015. – Вип. 166. – С. 98–104.

Рецензенти – доктори технічних наук, професори
А.І. Панченко, Ю.О. Чурсінов