

УДК 637.134

**К.О. Самойчук**, доктор технічних наук,  
доцент, завідувач кафедри обладнання  
переробних і харчових виробництв імені  
професора Ф.Ю. Ялпачика,  
Таврійський державний агротехнологічний  
університет імені Дмитра Моторного,  
м. Мелітополь, Україна

## ТЕОРІЯ КАВІТАЦІЙНОГО ДИСПЕРГУВАННЯ ЖИРОВОЇ ФАЗИ ПРИ ГОМОГЕНІЗАЦІЇ МОЛОКА

**Анотація.** Актуальною задачею при дослідженні гомогенізації молока є вибір базової теорії гомогенізації. Однією з найбільш відомих теорій є кавітаційна. У роботі наведено розвиток цієї теорії, схеми та аналіз механізмів руйнування жирових кульок при кавітаційному диспергуванні жирової фази молочної емульсії. Визначені сфери використання та перспективи кавітаційної гомогенізації.

**Ключові слова:** гомогенізація, молоко, диспергування, теорії гомогенізації, кавітація.

**Abstract.** Actual problems in the study of the homogenization of milk is the choice of the basic theory of homogenization. One of the most well-known theories is cavitation. The article presents the development of this theory, schemes and analysis of the mechanisms of destruction of fat globules during cavitation dispersion of the fat phase of milk emulsion. Areas of use and prospects of cavitation homogenization are determined.

**Keywords:** homogenization, milk, dispersion, theories of homogenization, cavitation.

Одним з основних і суперечливих питань, яке постає перед дослідниками гомогенізації молока є вибір переважного механізму руйнування жирової кульки молока та теорії гомогенізації. На пострадянському просторі прийнято вважати основними теоріями гомогенізації: руйнування під впливом градієнта швидкості в клапанному зазорі, руйнування за рахунок турбулентності, руйнування за

рахунок кавітації, здуванням мікрочасток і руйнування за рахунок відносної швидкості між жировою кулькою та плазмою молока. В той час, як у країнах дальнього зарубіжжя основними теоріями гомогенізації дрібнодисперсних емульсій, є кавітаційна та турбулентна.

Гіпотеза про переважний вплив кавітації як основного чинника процесу гомогенізації розвивалась стрибкоподібно: від основної для клапанної гомогенізації до незначної і не впливової [1]. Свідченнями наявності кавітації в клапанній щілині є ерозійні кільцеві утворення на робочих поверхнях сідла і клапана [2]. Але спочатку Н.В. Барановським, а згодом іншими дослідниками було експериментально доведено, що інтенсивність кавітації не впливає на ступінь гомогенізації, а сильно деформовані жирові кульки незруйнованими проходять зони кавітації в початковій частині клапанної щілини, а руйнуються набагато пізніше [3]. Дослідами [4] встановлено, що інтенсивність кавітації в клапанній щілині невелика, на відміну від виходу з клапанної щілини, де кавітація відбувається набагато інтенсивніше.

Кавітаційна дезінтеграція, як основний фактор диспергування, розвивається двох напрямках: гідродинамічна і акустична, механізм впливу яких на диспергування дисперсної фази емульсії не відрізняється.

За гіпотезою Ткаченка, в зоні кавітації виникають пульсуючі кавітаційні пухирці, які зхлопуються, стикаючись з краплями дисперсної фази [5].

Кумулятивні струмені, що утворюються в пухирцях, вдаряють по жировій кульці і розбивають її на більш дрібні.

За описаним вище принципом для руйнування жирової кульки необхідний збіг у просторі і часі як мінімум одразу двох факторів:

- наявності жирової краплі у безпосередній близькості до кавітаційного пухирця;
- розташування жирової краплі зі сторони появи кумулятивного струменя.

Таке співпадіння умов можливе лише при великій кратності обробки одного об'єму емульсії або довготривалій обробці.

Інший, і більш вірогідний механізм впливу кавітації – диспергування жирової фази за рахунок високих локальних перепадів тисків (ударних хвиль)

при схлопуванні кавітаційних пухирців [6].

зоні локального високого тиску навколо кавітаційного пухирця, що зхлопується, величина тиску досягає 1000МПа. Крім гідравлічного удару значно підвищується температура та виділяється водень, наявність якого погіршує властивості молока.

Поява локальних зон високої швидкості призводить до появи високих прискорень мікрооб'ємів, що веде до високої швидкості ковзання жирових кульок відносно плазми і до їх руйнування за критерієм Вебера. В такому разі на швидкість ковзання при кавітації найбільшим чином впливають розміри кавітаційних бульбашок і їх концентрація. Виявлено [5], що для підвищення ступеня диспергування жирової фази необхідно зменшувати розміри кавітаційних пухирців, що відбувається при підвищенні швидкості течії у зоні кавітації (збільшенні числа Рейнольдса), що співпадає з залежністю дисперсності жирової фази молока зі швидкістю потоку в клапанній щілині. Це може бути непрямим доказом руйнування за рахунок швидкості ковзання жирової кульки.

При кавітаційному диспергуванні відбувається поступове зменшення впливу кавітації на ступінь диспергування емульсії при багатократній обробці до моменту, коли за рахунок кавітації диспергування зупиняється. У досліджах [1] показано, що мінімальний розмір жирових кульок за рахунок кавітації сягає лише 1,4–2,0 мкм. Промислова установка для кавітаційної гомогенізації молока буде мати низьку продуктивність (менше 500–1000 л/год), за середньої дисперсності емульсії – 2,0 мкм і витратах енергії набагато вищих за клапанні машини ( $20 \text{ Дж/см}^3$ ) при більшій вартості апарата.

Завдяки теорії кавітації пояснюється факт, що при появі кавітації істотно змінюється залежність між ступенем гомогенізації та енерговитратами: при тій самій енергії, що підводиться, гомогенізація стає більш ефективною. Гомогенізацію в клапанній щілині можливо організувати без наявності кавітації, але це знижує ефективність процесу.

Зважаючи на результати досліджень кавітації, цей процес може бути лише додатковим інтенсифікуючим чинником для гомогенізації молока при необхідності отримання високодисперсних емульсій (<1 мкм), а механізм

кавітації дезінтеграції може бути пояснений виникненням високої швидкості ковзання при експлозії кавітаційних бульбашок в молоці.

### Список використаних джерел

Шестаков С.Д. Методика оптимизации процесса кавитационной дезинтеграции для обработки жидких пищевых сред // Хранение и переработка сельхозсырья. 2001. №10. С. 31–35.

Фиалкова Е.А. О парадоксах клапанных и роторных гомогенизаторов // Вестник Сев.-Кав. ГТУ. 2006. №3(7). С. 85–90.

Innings F., Trägårdh C. Visualization of the Drop Deformation and Break-Up Process in a High Pressure Homogenizer // Chemical Engineering & Technology. 2005. Vol. 28. Issue 8. August. 2005. P. 882–891.

Håkansson A., Fuchs L., Innings F., Revstedt J., Bjorn Bergenstahl, Christian Tragardh. 2010. / Visual observations and acoustic measurements of cavitation in an experimental model of a high-pressure homogenizer // Journal of Food Engineering 100 (3). P. 504–513.

Ткаченко А.Н. Кавитационные техника и технологи. К.: Техника, 2001. 462 с.

Ashokkumar M., Rink R., Shestakov S. Hydrodynamic cavitation – an alternative to ultrasonic food processing // Technical Acoustics . 2011. Vol.9. P. 156–166.