

К.О. Самойчук, д-р техн. наук, доц. (ТДАТУ, Мелітополь)
Г.В. Дейниченко, д-р техн. наук, проф. (ХДУХТ, Харків)

ОСНОВНІ ТЕОРІЇ ДИСПЕРГУВАННЯ І ГОМОГЕНІЗАЦІЇ МОЛОЧНОЇ ЕМУЛЬСІЇ

Основними теоріями гомогенізації дрібнодисперсних емульсій, згідно таких вчених як F. Innnings, T. Glawdel, C. Liu, Y. Lu, C. Trägårdh є кавітаційна та турбулентна. При кавітаційному диспергуванні відбувається поступове зменшення впливу кавітації на ступінь диспергування емульсії при багатократній обробці до моменту, коли за рахунок кавітації диспергування зупиняється. Експериментально показано, що мінімальний розмір жирових кульок за рахунок кавітації сягає лише 1,4–2,0 мкм. 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.

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.

Колмогоровим А.Н. та Хінце І.О. представлені теорії турбулентного диспергування крапель: ізотропна та в'язкісна. За механізмом ізотропної турбулентності диспергування відбувається флуктуаціями тиску, спричиненими мікрозавихреннями. При в'язкісному механізмі – зсувними напруженнями більш масштабних завихрень. Турбулентний механізм гомогенізації є основним у порівнянні з градієнтними гіпотезами диспергування та кавітаційним диспергуванням. За гіпотезою Колмогорова розміри гідравлічних завихрень визначають дисперсність емульсії: чим менші розміри завихрень, тим менше розміри жирових крапель. А розміри мікроставихорів зменшуються з підвищенням швидкості потоку.

Згідно з теорією Колмогорова-Хінце, зруйнувати краплю можуть: динамічний напір та сила в'язкого тертя. В залежності від того, яка з сил, що діє на поверхню краплі, домінує, можливі два механізми дроблення краплі. Основний чинник, який визначає динамічний напір це швидкість зовнішнього середовища відносно краплі (швидкість ковзання). Визначальними для сили в'язкого тертя є середня швидкість зсуву та питома дисипація енергії. Пізніше Слейчер у візуальних дослідах за результатами швидкісної зйомки довів, що:

– основним параметром для руйнування жирової краплі є швидкість;

– теорія ізотропної турбулентності Колмогорова-Хінце не може використовуватись для подрібнення крапель в потоці, де існує високий градієнт швидкості;

– найчастішим механізмом руйнування є витягування крапель, причому при відношенні їх довжини до діаметра більше 4 утворюється декілька нових дрібних крапель, а при відношенні менше 4 – лише дві нові краплі.

Таким чином, за теорією турбулентності експериментально доведено візуальними спостереженням руйнування краплі при її витягуванні згідно в'язкісного механізму, основним чинником якого є швидкість ковзання краплі. У 2011 році для клапанної щілини ці висновки було підтверджено експериментально.

Максимальний розмір крапель, що утворюються при дробленні в потоці суцільного середовища, визначається, в основному, трьома механізмами:

– нестійкість Кельвіна–Гельмгольца, що визначається величиною відносної швидкості;

– нестійкість Рэлея–Тейлора, що визначається величиною прискорення;

– механізм дроблення турбулентними пульсаціями А.Н. Колмогорова, що визначається величиною дисипації потужності.

Отже, для з'ясування переважного механізму диспергування жирової фази в клапанній щілині гомогенізатора високого тиску були проведені ретельні дослідження полів швидкості мікрочасток з використанням найсучасніших методів пульсуючих лазерів. Експерименти показали, що кавітація зосереджена в першій половині проміжку клапанної щілини, тоді як інтенсивність турбулентності в цьому місці дуже низька. Турбулентність найбільш ефективна у випускній камері після клапанної щілини. Це підтверджує утворення в цьому місці камери турбулентних вихорів з розмірами, порівняними з жировими кульками, які, як відомо, найбільш ефективні для руйнування. Порівнюючи ці виводи з візуалізацією процесу диспергування, турбулентність в більшій мірі ніж кавітація, є домінуючим чинником гомогенізації в клапанній щілині.

Таким чином, на сьогодні експериментально підтверджено переважну дію в'язкісного турбулентного механізму гомогенізації молока в клапанній щілині. Кавітація грає другорядну роль, але збільшує ефективність диспергування.