

СИЛИ, ЯКІ ОБУМОВЛЮЮТЬ ПОДРІБНЕННЯ ЖИРОВОЇ КУЛЬКИ В СТРУМИННО–ЩІЛИННОМУ ГОМОГЕНІЗАТОРІ МОЛОКА

Науковий керівник: асистент кафедри ОПХВ Ковальов О. О. (Україна, Мелітополь, ТДАТУ)

Виконавець: студент 31 ГМ Кузьмін К. С.

Постановка проблеми. Дослідження гомогенізації ускладнюється відсутністю єдиної теоретичної бази, що пов'язано з високими швидкостями руху дисперсної фази та їх мікроскопічними розмірами. Відомі гіпотези, кількість яких налічує понад 7 вичерпно не описують сутність процесів, що відбуваються при диспергуванні жирових часток [1]. Створені на базі них конструкції або не забезпечують необхідної дисперсності гомогенізованої молочної емульсії або мають високі питомі енергетичні витрати [2]. Результати перспективних досліджень дозволяють стверджувати, що досягти суттєвого зниження енерговитрат можливо за рахунок розробки конструкцій, принцип дії яких заснований на створенні максимальної різниці між швидкостями дисперсійної та дисперсної фаз [3, 4]. Тому актуальним завданням є проведення аналітичних досліджень сил, які обумовлюють руйнування жирової кульки.

Основні матеріали дослідження. Згідно тверджень Ньютона при русі шарів рідини між ними з'являються дотичні напруження величина яких є пропорційною до градієнту швидкості du/dy (Рис. 1) [5].

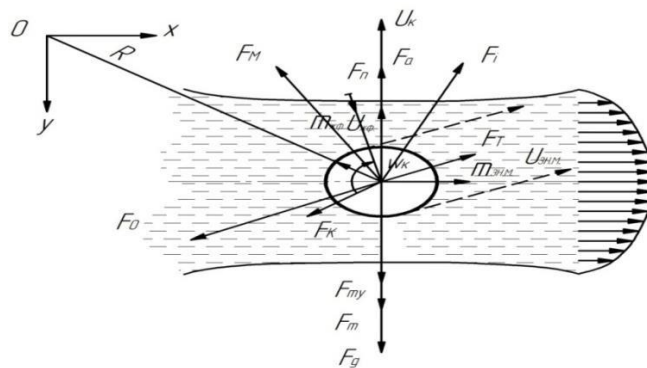


Рис. 1. Схема сил, які діють на жирову кульку в струминно–щілинному гомогенізаторі молока

Сили в'язкого опору пропорційні до радіусу часток та є одними із визначальних сил, які діють на кульку з боку дисперсійної фази [5].

$$F_0 = \frac{1}{8} \rho C_{\text{пл}} d_k^2 |v_{\text{зн}} - v_{\text{в}}| (v_{\text{зн}} - v_{\text{в}}), \quad (1)$$

де $v_{\text{зн}}$ – швидкість дисперсійної фази, м/с;

r_k – радіус жирової частки, м;

$v_{\text{в}}$ – швидкість жирової частки, м/с;

$C_{\text{д}}$ – коефіцієнт опору для н'ютоновської ділянки течії дорівнює 0,44.

Сили інерції в граничному шарі [5].

$$F_i = \rho l_{\text{в}}^2 v_{\text{в}}^2, \quad (2)$$

де $l_{\text{в}}$ – довжина шляху змішування Прандтля.

На частку може впливати сила що спрямована під прямим кутом до напрямку руху частки та намагається відхилити частку у напрямку обертання її передньої частини, що зветься ефектом Магнуса [6]

$$F_m = \frac{1}{4} \pi^2 d_k^2 \rho (v_{\text{зн}} - v_{\text{в}}) \omega_k, \quad (3)$$

де ω_k – кутова швидкість обертання жирової кульки, рад/с.

Сила Кориоліса за [7] дорівнює

$$F_k = -2m \omega_a (v_{\text{зн}} - v_{\text{в}}). \quad (4)$$

На рух дрібних субмікронних часток значний вплив можуть мати сили термофорезу, що спрямовані в бік середовища, що має нижчу температуру [6].

$$F_m = \frac{4,5 \pi \mu_k^2 d}{\rho T_{\text{пл}}} \left(\frac{\lambda}{2\lambda + \lambda_m} \right) \text{grad} T, \quad (5)$$

де T – температура частки;

λ – довжина шляху змішування часток, м;

λ_m – відношення шляху змішування часток до радіусу жирової частки.

Найбільший вплив цих сил спостерігається за незначних швидкостей, тобто в умовах струминно–щілинного гомогенізатору їхня величина не може бути визначальною [5]. Сили турбофорезу проявляються в тому що з ділянок з високою інтенсивністю турбулентних пульсацій до зони з низьким ступенем

турбулентності поширюються збудження [4, 5].

$$F_{my} = ma. \quad (6)$$

Ефект приєднаної маси відображає динамічний напір середовища на частку та означає збільшення її розрахункової маси, за умови коагуляції внаслідок зіткнення [7]. В струминно–щілинному гомогенізаторі, сили приєднаної маси не будуть мати визначального впливу, оскільки відстань між сусідніми жировими кульками буде мати великі значення [8, 9]

$$F_n = \frac{2}{3} \pi \rho_{\text{ж}} r_k \left(\frac{d_{\text{cp}} v_{\text{зн}}}{dt} - \frac{d_k v_e}{dt} \right). \quad (7)$$

Дисперсна фаза під дією архимедової сили піднімається та попадає в зону інтенсивного перемішування, де під впливом потоку знежиреного молока подрібнюються на краплі малого діаметру. Сила Архімеду дорівнює

$$F_a = -mg. \quad (8)$$

В нашому випадку дія архимедової сили буде незначною, оскільки створені інтенсивні турбулентні пульсації потоку різного масштабу будуть подрібнювати жирову фазу раніше та вона буде частково скомпенсована силою турбофореzu [7, 10].

Аналіз сил, які діють на окрему жирову кульку, дозволив дійти висновку, що визначальний вплив на жирову кульку мають сили Магнуса, Коріоліса, опору, інерції, та турбофореzu і рівняння руху жирової частки для струминно–щілинного гомогенізатора виглядає таким чином [2, 5]

$$m \frac{dv}{dt} = \frac{1}{8} \rho_{\text{ж}} \tilde{N} d^2 |v_{\text{сі}} - v_{\text{â}}| (v_{\text{сі}} - v_{\text{â}}) + \frac{1}{4} \pi^2 d^2 \rho_{\text{ж}} (v_{\text{сі}} - v_{\text{â}}) \omega_k + \rho_{\text{ж}} l_{\text{сі}}^2 v_{\text{â}}^2 + ma - 2m \omega_a (v_{\text{зн}} - v_e). \quad (9)$$

Результати та висновки. При русі жирової частки в потоці на неї діють сили, які обумовлюють її витягнення в напрямку плину потоку та руйнування при перевищенні сил Коріоліса, Магнуса, опору, інерції та турбофореzu над силами міжфазного натягу.

Список літератури

1. Голубева Л.В., Пономарев А.Н. Современные технологии и оборудование для производства питьевого молока. М: Дели принт. 2004. 179 с.

2. Дейниченко Г. В., Самойчук К.О., Ковальов О.О. Конструкції струминних диспергаторів жирової фази молока. Праці ТДАТУ. 2016. Вип. 16. Т. 1. С 219–227.
3. Самойчук К.О., Ковальов О.О. Аналітичні параметри процесу струминної гомогенізації молока з роздільною подачею вершків. Наукові праці ОНАХТ. 2013. Вип.43. С.77–81.
4. Самойчук К.О., Ковальов О.О. Механізми диспергування жирових кульок в струминному гомогенізаторі молока. Наукові праці ОНАХТ. 2016. Т.80. Вип. 1. С. 103–107.
5. Самойчук К.О., Ковальов О.О. Аналіз сил дроблення жирових кульок в струминному гомогенізаторі. Наукові праці півд. Філіалу НАУ біоресурсів та природокористування «Кримський аграрний університет». 2013. Технічні науки. вип.153. С. 26–34.
6. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. 1974. М: Наука. 712 с.
7. Белов. И.А. Моделирование турбулентных течений. учеб. пособие. СПб. Балт. гос. техн. ун-т. 2001. 108 с.
8. Самойчук К.О., Ковальов О.О., Лубко Д.В. Моделювання параметрів струминного гомогенізатора молока щілинного типу. Праці ТДАТУ. 2018. Вип 18, т. 2. С. 286–294.
9. Самойчук К. О., Ковалев А. А. Струйно-щелевой гомогенізатор для переработки молока. Переработка и управление качеством сельскохозяйственной продукции : Сб. статей 4-й междунар. науч.-практ. конф. Минск: БГАТУ, 2019. С. 118–120.
10. Tartar L. The General Theory of Homogenization. Lecture Notes, Springer, Verlag Berlin Heidelberg, 2009, 470 p.