ПРОЦЕСИ, ЯКІ ВІДБУВАЮТЬСЯ В ЗОНІ ГРАНИЧНОГО ШАРУ СТРУМИННО – ЩІЛИННОГО ГОМОГЕНІЗАТОРА МОЛОКА

Ковальов О. О., канд. техн. наук, асистент.
Самойчук К.О., доктор техн. наук., проф.
Тарасенко В.Г., канд. техн. наук, доц.

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

З метою забезпечення ефективного подрібнення жирових кульок в струминно–щілинному гомогенізаторі молока, що досягається за рахунок встановлення раціональних гідродинамічних, конструктивних та технологічних параметрів, доцільно розглянути можливий вплив на процеси руйнування жирових кульок граничного шару [1,2]. Граничний шар являє собою зону біля поверхні звуження конфузора гомогенізатора, в якому спостерігається високий градієнт швидкості в повздовжньому напрямку, а отже руйнування жирових кульок може відбуватися найбільш ефективно. Для оцінки впливу на процес руйнування граничного шару необхідно оцінити його величину, яка пов’язана з шляхом змішування та дотичними напруженнями, що виникають внаслідок дії сил опору руху жирової кульки в потоці [3].

Біля стінки камери відбувається ковзання рідини, в межах граничного шару дотичні сили зростають в напрямку повздовжньої вісі ***y***, а за межами граничного шару дотичні сили не мають помітного впливу. Збільшення товщини граничного шару, відбувається внаслідок включення часток, загальмованих завдяки дії сил в'язкості та тертя між дрібними об’ємами потоку та частками дисперсної фази [4,5]. З іншого боку оцінити товщину граничного шару є достатньо складним завданням. Деякі джерела вказують, що за розвиненої турбулентності граничний шар може займати всю площу обмежену стінками камери [6].

Сили в'язкості, які діють в граничному шарі викликають появу дотичних напружень, які зменшують швидкість потоку дисперсійного середовища та викликають утворення вихорів. За межами граничного шару вплив в'язкості зазвичай проявляється слабо, в цьому випадку силами тертя можна знехтувати, а градієнт швидкості не досягає таких великих значень, як в граничному шарі. Картина течії близька до тієї, яку дає ідеальна рідина з домінуючим впливом сили опору, згідно отриманого рівняння руху жирової частки [7].

Шлях змішування як міру турбулентності запропонував Л.Прандтль як відстань, яку повинна пройти жирова кулька у вихорі, виникаючому за турбулентної течії при проникненні часток зі струменю до потоку знежиреного молока, поки їх швидкості не зрівняються. Шлях змішування зростає за мірою збільшення турбулентності, будемо оцінювати його значення в межах коливання діаметра камери гомогенізатору в місці найбільшого звуження конфузору, що змінюється в межах 2–4 мм [3, 5]. Величина шляху змішування

$l_{зм}$ визначається емпіричною умовою теорії, запропонованої Прандтлем, згідно до якої [2,3]

$$l_{зм} = kd_к, \quad (1)$$

де k – універсальний коефіцієнт пропорційності, що не залежить від числа Рейнольдса $k \approx 0{,}39$;

$d_к$ – діаметр камери гомогенізатора в місці найбільшого звуження конфузору, при $d_к$=2..4мм, $l_{зм}$ дорівнює відповідно 0,78…1,56 мм.

Такий характер залежності пояснюється тим, що пульсації мають більш високі значення, де вище швидкість, при цьому шлях змішування пропорційний діаметру камери конфузору в місці найбільшого звуження $d_к$ [2, 8].

Градієнт швидкості в напряму, перпендикулярному до стінок внутрішніх поверхонь конфузору має високі значення, при цьому за межами граничного шару дотичні напруження мають низькі значення [3, 7, 8]. Величину дотичних напружень можна розрахувати за формулою [2]

$$\tau \sim \mu_{пл}\nu_{пл}\sqrt{\frac{2\rho_{пл}u_c}{\pi\mu_{пл}d_к}}, \quad (2)$$

де $\mu_{пл}, \nu_{пл}$ – відповідно динамічна та кінематична в’язкість плазми молока,

$\rho_{пл}$ – густина плазми молока, кг/м^3,

u_c – середня швидкість знежиреного молока, м/с.

Коефіцієнт динамічної в'язкості $\mu_{пл}$ при 60°С приблизно дорівнює $7\cdot10^{-4}$Па·с. Визначена у [7] за відомою гідродинамічною залежністю середня швидкість рідини дорівнює 24,5 м/с, а дотичні напруження при діаметрі конфузора в місці найбільшого звуження 4мм складають $7{,}9\cdot10^{-5}$Па; при діаметрі 2 мм відповідно $1{,}1\cdot10^{-4}$Па [2, 9, 10].

В граничному шарі градієнт швидкості $\partial u/\partial y$ в напрямку, перпендикулярному до стінки є дуже великим, а в’язкість $\mu_{пл}$ як би мала вона не була оказує вагомий вплив на течію, оскільки дотичні напруження, які викликані тертям можуть приймати високі значення [2, 4]. Товщина граничного шару пропорційна до кореню квадратного з кінематичної в'язкості

$$\delta = \sqrt{\nu} = \sqrt{1{,}5\cdot10^{-6}}, \quad (3)$$

Граничний шар являє собою область руху рідини в якому величини сили тертя та інерції мають однаковий порядок, на підставі чого можна оцінити товщину граничного шару [1-3].

$$\delta \sim \sqrt{\frac{\pi\mu_{пл}d_к}{2\rho_{пл}\nu}}, \quad (4)$$

Згідно наведених формул (3) та (4) товщина граничного шару дорівнює відповідно $1{,}2\cdot10^{-3}$ та $3{,}8\cdot10^{-2}\ldots5{,}3\cdot10^{-2}$ мм. Різниця між отриманими значеннями пояснюється приблизністю розрахунку коефіцієнта динамічної в'язкості плазми молока та величини шляху змішування.

З отриманих результатів можливо зробити висновок, що діаметр конфузору в місці найбільшого звуження камери гомогенізатора повинен дорівнювати мінімально можливих значень, оскільки при цьому зростатимуть дотичні напруження, які зменшують швидкість вершків. При високих значеннях швидкості знежиреного молока виконання цієї вимоги буде створювати необхідні умови для ефективного диспергування в зоні граничного шару. Але зважаючи на незначну товщину граничного шару, в ньому подрібнюється незначна частина жирових кульок, внаслідок чого розглядати його в якості основного фактору подрібнення недоцільно.

Список літератури

1. Вступ до фаху: Конспект лекцій для здобувачів ступеня вищої освіти «Бакалавр» зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» / Ковальов О.О., Самойчук К.О., Олексієнко В.О., Паляничка Н.О., Петриченко С.В., Верхоланцева В.О., Колодій О.С.: ТДАТУ. – Мелітополь, 2021. – 180 с.

2. Основи розрахунку та конструювання обладнання переробних і харчових виробництв: підручник / ТДАТУ: К. О. Самойчук, В. С. Бойко, В. О. Олексієнко та ін. – Мелітополь: Вид. «ММД», 2020. – 428с.

3. Інноваційні технології та обладнання галузі. Переробка продукції тваринництва: посібник-практикум / К. О. Самойчук, С. В. Кюрчев, Н. О. Паляничка, В. О. Верхоланцева, С. В. Петриченко, О. О. Ковальов: ТДАТУ. – Мелітополь: видавничо-поліграфічний центр «Forward press», 2020. – 250 с.

4. http://www.tsatu.edu.ua/ophv/konferenciji/mizhnarodna-naukovo-praktychna-internet-konferencija-novaciji-v-tehnolohiji-ta-obladnanni-hotelno-restorannyh-harchovyh-pererobnyh-vyrobnyctv/sertyfikaty-uchasnykiv-konferenciji-2/.

5. 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.

6. Kovalyov, A. Experimental investigations of the parameters of the jet milk homogenizer with separate cream supply [Text] / A. Kovalyov, K. Samoichuk, N. Palyanychka, V. Verkholantseva, V. Yanakov // Technology audit and production reserves. - 2017. - № 3/3 (35). –pp 33-39.

7. Самойчук.К.О Механізм руйнування жирових кульок у струминному гомогенізаторі з роздільним подаванням вершків /К.О.Самойчук, О.О.Ковальов// – Донецьк: ДонНУЕТ. – 2013. – Вип. 30. – С.148 – 155.

8. K. Samoichuk, A. Kovalyov, V. Oleksiienko, N. Palianychka, D. Dmytrevskyi, V. Chervonyi, D. Horielkov, I. Zolotukhina, A. Slashcheva. Determination of fat milk dispersion quality in the jet-slot type milk homogenizer. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2020. № 5/11 (107). pp 16–24.

9. Самойчук К.О. Механізми диспергування жирових кульок в струминному гомогенізаторі молока/ К. О. Самойчук, О. О. Ковальов//Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій": Одеса – 2016. – т.80, випуск 1 – С. 103-107.

10. K. Samoichuk, A. Kovalyov, V. Oleksiienko, N. Palianychka, D. Dmytrevskyi, V. Chervonyi, D. Horielkov, I. Zolotukhina, A. Slashcheva.

Elaboration of the research method for milk dispersion in the jet slot type homogenizer. EUREKA: Life Sciences». 2020. No. 5. 51–59 pp.