

УДК 637.134

ЯКІСТЬ ТА ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРОЦЕСУ СТРУМИННОЇ ГОМОГЕНІЗАЦІЇ МОЛОКА З РОЗДІЛЬНОЮ ПОДАЧЕЮ ВЕРШКІВ

Самойчук К.О., к.т.н.,

Ковальов О.О., інженер,*

Султанова В.О., інженер.

Таврійський державний агротехнологічний університет

Тел. (06192) 42-13-06

Анотація – у статті досліджено зв'язок між показниками якості та енергетичними витратами процесу струминної гомогенізації молока з роздільною подачею вершків.

Ключові слова – енергозбереження, роздільна гомогенізація, жирова кулька, струминний гомогенізатор.

Постановка проблеми. В умовах сучасного стану світового господарства перед кожним виробником сільськогосподарської продукції постає завдання зниження енергоємності процесів, що складають виробництво, для забезпечення рентабельності в умовах глобальної економіки. З іншого боку, умова наявності на ринку повинна обумовлюватись високою якістю продукту. Гомогенізація як одна з операцій, що складають технологію виробництва молочних продуктів, є дуже енерговитратним процесом. На даний момент часу немає можливості наочно дослідити процес та скласти його загальну теорію; по-друге, найбільш використовувані у виробництві конструкції (клапанні) є дуже енерговитратними [1]. Відтак, дослідження нових енергозберігаючих конструкцій за умови збереження якості є пріоритетним напрямком діяльності науковців галузі.

Аналіз останніх досліджень. Існує близько 5 – 6 гіпотез гомогенізації та порядку 10 – 12 принципово різних конструкцій на базі цих гіпотез. Однак висунути єдину теорію процесу досі не вдалося, зважаючи на великі швидкості процесу та дрібний розмір часток продукту. Більшість дослідників процесу схиляються до того, що визначальним фактором у механізмі руйнування жирових кульок у процесі гомогенізації є різниця швидкостей руху фаз продукту. На підставі цього висновку запропоновано лабораторне устаткування для

дослідження процесу струминної гомогенізації молока з роздільним подаванням жирової фази [2].

Струминний гомогенізатор молока з роздільною подачею вершків працює таким чином. До подачі в пристрій молоко сепарується для отримання знежиреного молока та вершків. Знежирене молоко через патрубок подачі 6 під тиском подається до місця найбільшого звуження напрямних 5 центрального каналу 4, де має максимальну швидкість (рис.1). До потоку молока крізь канали подачі жирової фази 2 подаються вершки через патрубки 1. Молоко з гомогенованими жировими частками відводиться крізь патрубок 3. При уведенні тонкого струменю вершків у потік знежиреного молока між ним та струменем вершків створюються великі градієнти швидкості, за рахунок зміни числа Рейнольдса встановлюється режим розвиненої турбулентності, за якого виникають значні тангенційні напруження. Ці напруження, за твердженням Хінце, пов'язані математичним відношенням з критерієм Вебера, що буде спричиняти подрібненню жирових кульок, а, відтак, і гомогенізації продукту [3].

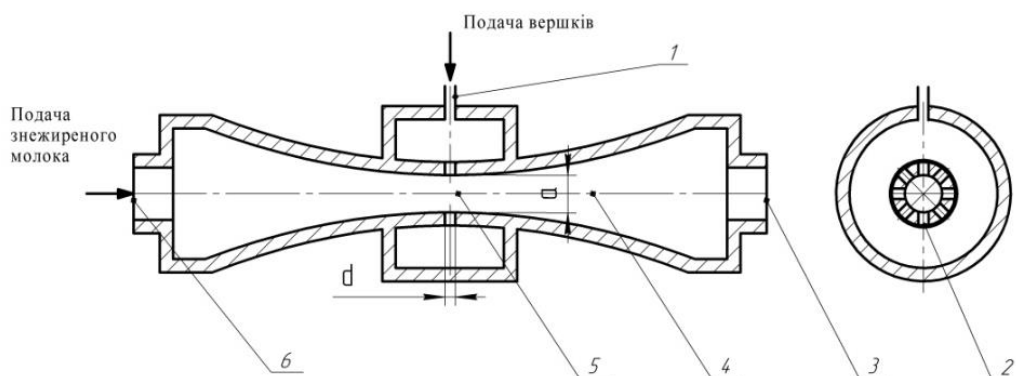


Рисунок 1. Схема струминного гомогенізатора молока з роздільною подачею вершків.

1 – патрубок подачі вершків; 2 – канал подавання жирової фази; 3 – патрубок для відведення гомогенованого молока; 4 – центральний канал; 5 – зона диспергування жирової фази; 6 - патрубок подачі знежиреного молока.

Формування цілей статті (постановка завдання). Завданням статті є вивчення енергетичної ефективності процесу диспергування жирових кульок у плазмі молока в струминному гомогенізаторі молока з роздільною подачею вершків у зв'язку з показниками якості процесу. Аналізуючи літературу з теми можна стверджувати, що існуючі конструкції, серед яких клапанні найбільш розповсюджені, є дуже енерговитратними, при проведенні згідно технології нормалізації із подальшою гомогенізацією витрати енергії, складуть

при тиску 15-20 МПа близько 8кВт/т [4]. Внесення змін до їх конструкцій не дає суттєвого енергозбереження. Інші конструкції або також мають великі витрати енергії або не забезпечують необхідної якості процесу. Стосовно якості процесу для підвищення засвоюваності та біологічної цінності продуктів слід зазначити наступне: потрібно прагнути того, щоб розмір часток дисперсної фази повинен наближуватись до розміру хіломікронів, тобто сягав порядку 0,4 – 0,5мкм [5]. Отже, метою статті є дослідження зв'язку між якістю гомогенізації та енергетичними витратами на здійснення процесу.

Основна частина. При дослідженні процесів диспергування різних сумішей у безперервному середовищі важливо враховувати стійкість краплі до дії сил, що прагнуть зруйнувати її. При розгляданні розподілу тисків у площині, що є перпендикулярною до поверхні шару, що обтікається, виділяють зони статичного тиску всередині рідини, зони підвищеного та зниженого тисків. Лобові сили плющать краплю, інші витягують її з боків та в передній частині і утворюють дископодібне тіло, що згодом руйнується [6].

При дослідженні різних процесів у різних середовищах значення критерію Вебера, як критерію руйнування краплі, дуже різняться. Нижня межа значень числа Вебера буде більшою для емульсій порівняно з газом внаслідок залучення до процесу сусідніх шарів рідини, що оточують кульку, та більших значень відносної швидкості. Верхня межа необхідних значень цього параметру змінюється, за думками різних авторів до двох та тризначних величин. Проте, необхідні та достатні для подрібнення значення критерію Вебера за умови енергозбереження знаходяться у межах 30 – 70. У цьому діапазоні значень відбувається досягнення кулькою режиму критичних деформацій з утворенням тонких стрічок [7], або режиму вибухового подрібнення з руйнуванням головної краплі на велику кількість вторинних крапель [6].

Критерій Вебера незалежно від типу руху рідини можна визначити залежно від ефекту гомогенізації у вигляді

$$We = f(H_m)^m, \quad (1)$$

де H_m – ступінь подрібнення;

m – показник ступеню, значення якого для гомогенізації при високому тиску дорівнює 1,7.

$$H_m = \frac{d_1}{d_k}, \quad (2)$$

де d_1 – середній діаметр жирової кульки до гомогенізації;

d_k – середній діаметр жирової кульки після гомогенізації.

Середній діаметр жирової кульки до диспергування у сирому молоці, за оцінками різних дослідників, складає від 2,5 до 4мкм [8].

$$d_k = \frac{H_m}{d_1}. \quad (3)$$

Формула критерію Вебера для випадку струминної гомогенізації молока з роздільною подачею вершків має вигляд

$$We = \frac{\rho_{пл} u_m^2 d_{max}}{\sigma_{ж-п}}, \quad (4)$$

де $\rho_{пл}$ – густина плазми молока, кг/м³;

u – відносна швидкість потоку молока відносно швидкості жирової кульки м/с;

d_{max} – максимальний діаметр жирової кульки, стабільної у даних гідродинамічних умовах, м;

$\sigma_{ж-п}$ – поверхневий натяг на межі розділу фаз жир – плазма.

Для збільшення ефекту подрібнення необхідно підвищити відносну швидкість u . Для цього необхідно збільшити швидкість жирової кульки перед включенням її до потоку знежиреного молока, що збільшить прискорення частинки та зменшить сили інерції. Для цього необхідно, по-перше виготовляти діаметри каналів подавання вершків мінімально можливих значень за умови забезпечення необхідної продуктивності. По-друге, для досягнення подібного ефекту жирова фаза подається у потік у місці найбільшої швидкості потоку 5 (рис. 1), отже, місці найбільшої різниці швидкостей фаз продукту.

Теоретичне визначення відносної швидкості u є доволі складною задачею, але відомо, що вона буде мати більше значення порівняно з процесами подрібнення у газовому середовищі внаслідок залученості при русі рідини сусідніх шарів та меншою за швидкість основного потоку.

Швидкість знежиреного молока, необхідна для руйнування жирової кульки, складатиме

$$v_m = \sqrt{\frac{We\sigma}{d_1\rho_{пл}}}. \quad (5)$$

Швидкість знежиреного молока обчислюють за відомою формулою

$$v_m = \varphi \sqrt{\frac{2}{\rho_{пл}} \Delta p_1}. \quad (6)$$

Звідси надлишковий тиск подавання знежиреного молока з урахуванням (5) та (6) дорівнює

$$\Delta p_1 = \frac{v_m^2 \rho_{nl}}{2\varphi^2}. \quad (7)$$

Ураховуючи (2) виразимо Δp_1 .

$$\Delta p_1 = \frac{We\sigma}{2\varphi^2 d_1}. \quad (8)$$

Згідно наведеної формули (8) та прийнятих значень $We = 30 - 70$; $\varphi = 0,85$; для практичних розрахунків приймаємо $d_1 = 3 \cdot 10^{-6}$ мм, при цьому надлишковий тиск у камері гомогенізатору Δp_1 складає $6,9 \cdot 10^5 - 1,6 \cdot 10^6$ Па.

Для оцінювання якості диспергування можна використовувати два показники: ступінь гомогенізації H_m , який являє собою відношення первинного розміру краплі до остаточного, тобто ступінь подрібнення та діаметр жирових кульок після подрібнення d_k . Стосовно параметра H_m необхідно зазначити, що, згідно проведених теоретичних досліджень процесу, найбільш раціональними значеннями числа Вебера є діапазон від 30 до 40, за яких досягається подрібнення у 2 – 4 рази. Робота на інших технологічних режимах є також можливою, але з показниками якості, нижчими за технологічні вимоги.

$$H_m = \frac{2\varphi^2 d_k \Delta p_1}{We\sigma}. \quad (9)$$

Щодо середнього діаметра жирових кульок після гомогенізації, відомо, що значення цього параметра при використанні клапанних гомогенізаторів складає 0,75 – 0,80 мкм. Н.В. Барановський для оцінювання діаметра жирових кульок після подрібнення пропонує емпіричну формулу [9]

$$d_k = \frac{3,8}{\sqrt{\Delta p_1}}. \quad (10)$$

Але в нашому випадку більш певно буде для визначення цього параметра використовувати наступну залежність, отриману з формули (2) та перетворенням виразу (9)

$$d_k = \frac{We\sigma}{2\varphi^2 \Delta p_1}. \quad (11)$$

Виразимо We з (4) та, враховуючи (9) та (11), отримуємо

$$We = \frac{\Delta p_1 2\varphi^2 d_k}{\sigma}. \quad (12)$$

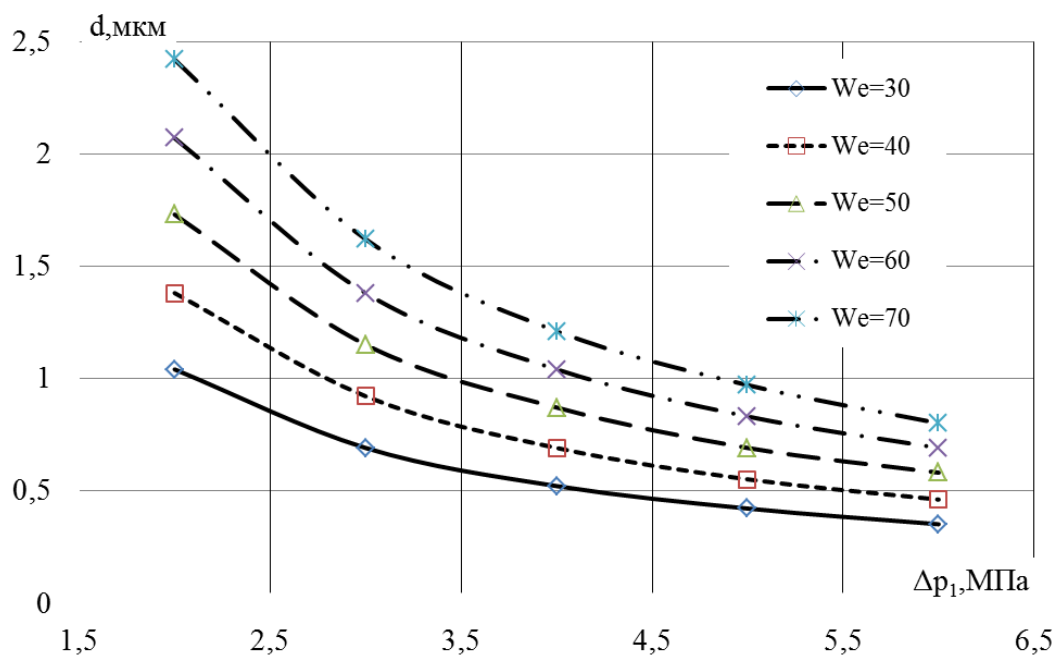


Рисунок 2. Графік залежності діаметра часток жирової фази d від надлишкового тиску гомогенізатора Δp_1 за різних значень критерію Вебера We .

З рисунку 2 видно, що при невеликих значеннях числа Вебера якість гомогенізація, на рівні клапанної (0,7) при $\Delta p_1=3$ МПа, при 6 МПа досягається подрібнення до рівня хіломікронів, але обумовлюється більшими значеннями енергетичних витрат на створення більшого надлишкового тиску знежиреного молока. За більших значень числа Вебера 50 - 70 подрібнення відбувається погано за низьких значень надлишкових тисків. З іншого боку, при цих значеннях критерію подрібнення якість диспергування на рівні клапанних гомогенізаторів досягається при витратах енергії у 2 рази більших, порівняно з $We=30$ та $\Delta p_1=3$ МПа. Отже, раціональними для використання за умови забезпечення високої якості гомогенізації та мінімальних енергетичних витрат слід визнати діапазон чисел Вебера 30 – 50.

Зменшити діаметр жирових кульок у процесі подрібнення можливо або зниженням поверхневого натягу, що істотно покращить якість процесу, шляхом використання емульгаторів або поверхнево активних речовин, або зміною насадки патрубку подавання знежиреного молока, від форми якого залежить значення коефіцієнта швидкості ϕ .

Ще одним фактором, що буде впливати на якість процесу диспергування, є діаметр каналу отвору подавання вершків. З проведених теоретичних досліджень виникає висновок, що треба прагнути до якомога меншого технологічно виконуваного діаметра

цього каналу. Це обумовлене тим, що більш тонкий струмінь вершків, попадаючи до пульсуючого турбулентного потоку знежиреного молока, буде зазнавати більш рівномірного впливу, і, отже, краще подрібнюватись. Але надмірно малим цей параметр не може бути, так як це може спричинити явище облітерації порожнин каналів подавання вершків. Більш точні значення цього параметра та його вплив на показники якості гомогенізації планується з'ясувати при проведенні експериментальних досліджень процесу.

Також необхідно з'ясувати вплив на якість гомогенізації тиску подавання жирової фази. Цей параметр важливо дослідити тому, що швидкість жирової фази, яка є функцією тиску подавання жирової фази може мати суттєвий вплив на показники якості процесу.

Енергетичні витрати процесу гомогенізації дорівнюють

$$E = \frac{Q_{нл} \Delta p_1 t}{\rho_{нл}} + \frac{Q_2 \Delta p_2 t}{\rho_2}, \quad (13)$$

де ρ_2 - густина вершків, кг/м³;

$Q_{нл}$ - подача знежиреного молока в гомогенізатор, кг/год;

Q_2 - подача вершків, кг/год;

$\rho_{нл}$ - густина плазми молока, кг/м³;

t - тривалість гомогенізації, с.

Питомі енерговитрати гомогенізатора, враховуючи (13), дорівнюють

$$E_{пит} = \frac{\Delta p_1}{\rho_m} + \frac{\Delta p_2}{\rho_2} \quad (14)$$

З [9], відомо, що надлишковий тиск у каналах подавання жирової фази дорівнює

$$\Delta p_2 = 8 \rho_2 \left(\frac{Q_2 (J_{н.с} - J_{зн})}{(J_2 - J_{н.с}) 3600 \rho_2 \mu \pi d_2^2} \right)^2 \quad (15)$$

Враховуючи (8), а також (14) та (15) знаходимо $E_{пит}$

$$E_{пит} = \frac{We \sigma}{2 \varphi^2 d_1 \rho_m} + \frac{8}{\rho_2} \left(\frac{Q_2 (J_{н.с} - J_{зн})}{(J_2 - J_{н.с}) 3600 \mu \pi d_2^2} \right)^2 \quad (16)$$

де ρ_m - густина молока, кг/м³;

$J_{н.с}$, J_2 , $J_{зн}$ - відповідно, масова частка жиру в нормалізованій суміші, вершках, знежиреному молоці, %.

d_2 - діаметр каналу подавання жирової фази, м;

μ - коефіцієнт витрат (залежить від конструкції каналу подачі вершків).

Аналіз формули (16) показує, що знизити питомі енерговитрати процесу диспергування можливо наступним чином. По перше, шляхом підвищення коефіцієнта швидкості φ шляхом зміни форми насадки патрубку подавання знежиреного молока. Іншим шляхом зниження питомих енерговитрат процесу є підвищення коефіцієнта витрат каналу подавання жирової фази μ , що залежить від конструкції каналу подавання. Останнім шляхом зниження енерговитрат є збільшення діаметрів каналів подавання вершків d_e . Але цей показник для забезпечення якості гомогенізації, як зазначалося вище повинен прагнути до мінімальних значень. Отже, метою експериментальних досліджень, серед іншого, буде виявлення оптимального співвідношення між показниками якості процесу диспергування та діаметром каналу подавання вершків.

Висновки. У статті визначені показники якості процесу диспергування, які свідчать про те, що робота гомогенізатору є ефективною з точки зору подрібнення та енергетичних витрат у достатньо вузькому діапазоні значень критерію подрібнення, числа Вебера. Енергетичні витрати процесу за результатами попередніх розрахунків дорівнюють 1-4 кВт/т. Можливо стверджувати, що витрати на проведення процесу струминної гомогенізації та нормалізації у струминному гомогенізаторі молока з роздільним подаванням вершків будуть у 4-5 разів нижчі за клапанні при збереженні високої якості продукту.

Література:

1. *Нужин Є.В.* Про вплив параметрів потоку на процес гомогенізації / Є.В. Нужин // Одеська державна академія харчових технологій. Наукові праці. – 1999. – Вип. 18. – С.151–154.
2. *Самойчук К.О.* Розробка лабораторного зразка струминного гомогенізатора з роздільною подачею вершків/ К.О.Самойчук, О.О.Ковальов. Праці ТДАТУ – Мелітополь: 2011 – 77-84с.
3. *Самойчук К.О.* Аналіз сил дроблення жирових кульок в струминному гомогенізаторі /К .О. Самойчук, О.О. Ковальов // Наукові праці Південного філіалу Національного університету біоресурсів і природокористування України "Кримський агротехнологічний університет" (ПФ НУБіП України "КАТУ") : Сімферополь – 2013. – Вип.153. – С. 26-34.
4. *Твердохлеб Г.В.* Технология молока и молочных продуктов/Г.В. Твердохлеб, Г.Ю. Сажин, Р.И. Раманаскас. М.: Делипринт, 2006. – 616 с.
5. *Петров А.Н.* Теория и практика повышения устойчивости жировой фазы консервов на молочной основе общего и специального

назначения : диссертация ... доктора технических наук : 05.18.04 / Петров Андрей Николаевич; - Москва, 2010.- 280 с.

6. *Пажи Д.Г.* Основы техники распыливания жидкости/Д.Г.Пажи., В.С.Галустов. Химия – М: 1984 – 256с.

7. *Бойко В.М.* Динамика частиц и капель в потоке за ударной волной //Известия РАН .МЖГ. 2007.- № 3.-С.110-120.

8. *Крусь Г.Н.* Методы исследования молока и молочных продуктов / Г.Н. Крусь, А.М. Шалыгина, З.В. Волокитина. Под ред. А.М. Шалыгиной. – М.: Колос, 2002. – 368 с.

9. *Самойчук К.О.* Обґрунтування гідродинамічних параметрів процесу струминної гомогенізації молока з роздільною подачею вершків / К.О. Самойчук , О.О. Ковальов // Наукові праці ОНАХТ: Одеса – 2014. – Вип. 46, Т.2 – С. 314 – 319.

КАЧЕСТВО И ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОЦЕССА СТРУЙНОЙ ГОМОГЕНИЗАЦИИ МОЛОКА С РАЗДЕЛЬНОЙ ПОДАЧЕЙ СЛИВОК

Самойчук К.О., Ковалев А.А.

Аннотация – в статье изучена взаимосвязь между показателями качества и энергетическими затратами процесса струйной гомогенизации молока с раздельной подачей сливок.

THE QUALITY AND THE ENERGY EFFICIENCY IN A JET – MIXING HOMOGENIZATION OF MILK PROCESS WITH THE SEPARATED GIVING OF CREAMS

Samoichuk K., Kovalyov O.

Summary

In the article the relation between the indicators of quality and the energy efficiency by the using of jet – mixing homogenization of milk process with the separated giving of creams are investigated.