

УДК 637.134

КОНСТРУКЦІЇ СТРУМИННИХ ДИСПЕРГАТОРІВ ЖИРОВОЇ ФАЗИ МОЛОКА

Дейниченко Г.В., д.т.н.,

Самойчук К.О., к.т.н.*,

Ковальов О.О., інженер

Таврійський державний агротехнологічний університет

Тел.(06192) 42-13-06

Анотація – у статті розглянуті можливі варіанти конструкцій струминного гомогенізатора молока з роздільним подаванням жирової фази та із зіткненням струменів. Проаналізовані переваги та недоліки запропонованих конструкцій гомогенізаторів.

Ключові слова – диспергування, аналіз, нормалізація, жирова кулька, струминний гомогенізатор.

Постановка проблеми. Незважаючи на більш ніж сторічну історію використання гомогенізації у технологічних процесах виробництва молочної продукції, невирішеними залишається багато питань. Зокрема, такі питання, як зниження енергетичних витрат процесу, оскільки найбільш використовувані на практиці клапанні гомогенізатори мають енерговитрати близько 8 кВт/т продукту; підвищення якості продукту та, як наслідок, підвищення конкурентоздатності товару. До невирішених питань також слід віднести відсутність єдиної теорії процесу гомогенізації. Широкому колу науковців відомі близько 5 – 7 гіпотез гомогенізації, які претендують на роль теорії процесу[1].

Відсутність єдиної теорії обумовлена складністю спостереження диспергованих часток жиру з огляду на їх дрібні розміри та високими швидкостями протікання процесу гомогенізації. Однак, той факт, що гомогенізація використовується у більшості нормативних процесів виробництва молочної продукції змушує науковців продовжувати пошук шляхів підвищення ефективності здійснення процесу.

Аналіз останніх досліджень. Авторами при аналізі гіпотез гомогенізації доведено, що визначальну роль у процесі диспергування жиру в молоці має різниця швидкостей між знежиреним молоком та

© Дейниченко Г.В., д.т.н., проф., Самойчук К.О., к.т.н., доц., Ковальов О.О., інженер

* Науковий консультант – д.т.н., проф. Дейниченко Г.В.

жировою кулькою. На підставі цього висновку авторами була запропонована та виготовлена конструкція лабораторного зразка струминного гомогенізатора молока з роздільним подаванням жирової фази [2].

У ньому знежирене після проходження сепаратора молоко подається крізь патрубок до центрального каналу камери гомогенізатора, де в місці найбільшого звуження (тобто найменшого значення тиску та найбільшої швидкості) до нього патрубком подачі жирової фази крізь вузький канал подаються вершки. Готовий продукт відводиться крізь патрубок.

Зниження енергоємності процесу гомогенізації досягається, зокрема, шляхом використання роздільної гомогенізації. Перевагами роздільної гомогенізації є зниження витрат енергії на 50 – 70% за рахунок зменшення кількості гомогенізуємого продукту, підвищення стабільності жирової фази та білків та обмеження небажаного механічного впливу на молочний білок при виробництві питного молока. Додатковою перевагою проведення роздільної гомогенізації є можливість регулювання жирності вихідного продукту шляхом зміни швидкості подавання вершків або швидкості подавання знежиреного молока в умовах підсмоктування вершків. Варіюванням діаметрів та кількістю каналів для ежектування вершків змінюється кількість вершків, що подається до пристрою, за допомогою чого досягається необхідна концентрація жиру отриманого продукту, тобто, здійснюється нормалізація молока [3].

Визначальною у процесі подрібнення жирової кульки умовою є створення режиму для досягнення критичного значення числа Вебера. В усіх розглянутих конструкціях руйнування відбувається шляхом витягання кульки в куполоподібне тіло з подальшим проривом під дією динамічних напружень середовища та поділом первинної краплі на велику кількість вторинних[4].

Формулювання цілей статті (постановка завдання)

Враховуючи для ефективного проведення гомогенізації створення максимальної різниці швидкостей дисперсійної та дисперсної фаз продукту необхідно розглянути можливі конструктивні рішення струминних гомогенізаторів молока для отримання продукту високої якості при зниженні енергетичних витрат процесу. Деякі з конструкцій, що розглядаються, мають можливість поєднання операцій гомогенізації та нормалізації, чим, крім конструктивних особливостей, пояснюється зниження витрат енергії. Отже, метою статті є можливість шляхом варіювання формою каналів подавання вершків, тиском подавання вершків, діаметром каналів подавання вершків розглянути можливі конструктивні рішення камери струминного гомогенізатора та виявити їх переваги та недоліки.

Основна частина. Можлива реалізація трьох типів конструкцій для реалізації принципу роздільної гомогенізації, та, отже, отримання енергозберігаючого ефекту. Перший тип являє собою конструкцію, показану на рисунку 1, у якій до швидкісного потоку знежиреного молока в місці найбільшого звуження потоку подаються тонким струменем вершки. Другим типом конструктивного рішення є розташування патрубків подавання знежиреного молока та вершків одне проти одного в плазмі молока камери гомогенізації. Останній тип являє собою щілинну камеру, з якої вершки надходять до камери гомогенізації у певному відношенні. Отже, метою статті є аналіз переваг та недоліків кожного з можливих варіантів роздільної гомогенізації у струминних гомогенізаторах молока з роздільним подаванням жирової фази.

Розглянемо конструкцію, принцип дії та ефективність струминного гомогенізатора молока з роздільним подаванням вершків (рис.1).

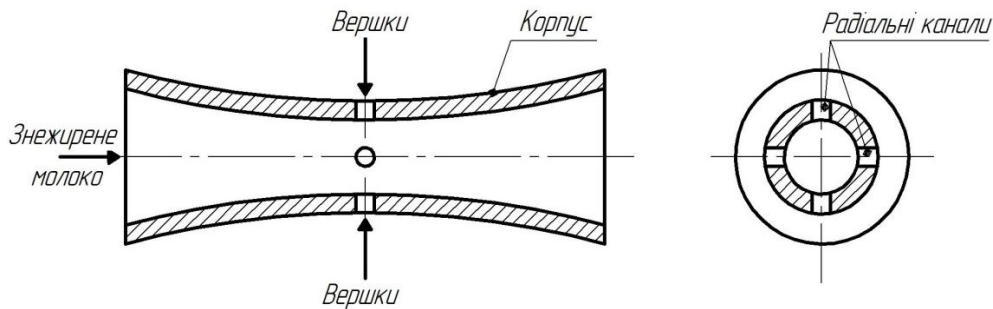


Рис. 1. Схема струминного гомогенізатора молока з роздільним подаванням жирової фази

Жирова фаза в ньому подається перпендикулярно до швидкісного потоку знежиреного молока. З теоретичної механіки відомо, що в цьому випадку швидкість жирової фази в точці зіткнення буде дорівнювати нулю. При цьому швидкість знежиреного молока в той же точці буде приймати максимальне значення. Під дією тангенційних напружень буде досягатись режим з критичними значеннями числа Вебера 80 - 120, що буде обумовлювати деформацію та подрібнення жирової кульки за описаним вище механізмом [5].

З точки зору енерговитрат спосіб є вигідним, оскільки має можливість створення режиму подавання знежиреного молока, при якому відбувається підсмоктування вершків до камери, і, отже, економія електричної енергії. За теоретичними оцінками енерговитрати даного типу гомогенізаторів складуть близько 3 – 4кВт/т продукту.

Діаметр жирових часток буде залежати від швидкості знежиреного молока, як функції надлишкового тиску; діаметра каналу подавання вершків, який має прагнути до мінімально можливих значень та діаметра камери гомогенізатора в місці найбільшого звуження центрального каналу гомогенізатора. Згідно отриманих теоретичних даних при моделюванні гомогенізації у програмному комплексі ANSYS $\Delta p = 3,5 - 4 \text{ МПа}$; діаметр центрального каналу в місці найбільшого звуження $d_c = 1 \text{ мм}$; діаметр каналу подавання вершків $d_b = 1 \text{ мм}$, діаметр жирових кульок після гомогенізації $d = 1,0 - 1,1 \text{ мкм}$.

До недоліків конструкції можна віднести можливість облітерації каналу або каналів подавання вершків, які мають бути для забезпечення високої якості продукту якомога менших значень.

Іншою конструкцією струминного гомогенізатора з роздільним подаванням вершків є струминний гомогенізатор з зустрічною подачею вершків до плазми молока (рис. 2).

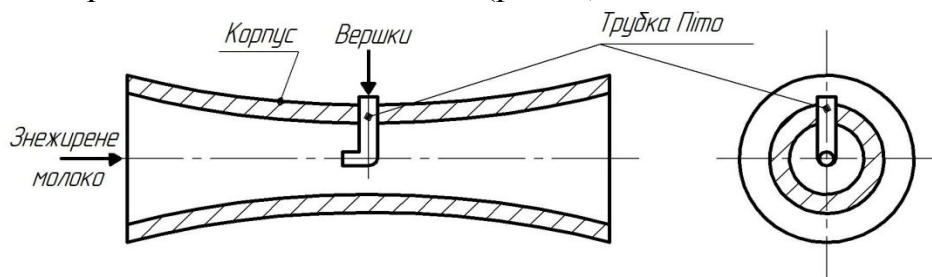


Рис. 2. Схема струминного гомогенізатора з зустрічною подачею вершків до плазми молока.

Жирову фазу можливо подавати в повітряному середовищі, або в плазмі молока. Принциповою різницею між способами подавання буде характер руху жирової кульки в середовищі. Різниця характеру руху буде пов'язана з різною в'язкістю повітря та плазми молока, які взаємодіють з жировою кулькою, яка буде різнитись у десятки разів. У повітряному середовищі кулька буде обтікаться потоком повітря з в'язкістю, що в рази різниться від в'язкості кульки, відтак, різницю швидкостей ковзання фаз створити не буде складати труднощів. У випадку подавання жирової фази в зустрічному напрямку до плазми молока жирова кулька, що рухається, втягує до свого руху сусідні шари рідини, тобто, створити різницю швидкостей фаз буде складніше.

Конструкція з зустрічним напрямком подавання вершків до плазми молока матиме прогнозуємо високу якість за рахунок використання кумулятивного ефекту при зіткненні струменю вершків та потоку знежиреного молока, та, як наслідок, посилення подрібнюючого ефекту.

До недоліків конструкції буде відноситись необхідність додаткових витрат енергії на створення надлишкового тиску, що буде попереджати виштовхування трубки з форсункою, що в даному випадку буде діяти як трубка Піто[6].

Останнім типом конструктивного рішення камери гомогенізатора з подавання жирової фази до потоку знежиреного молока є щілинний струминний гомогенізатор молока (рис. 3).

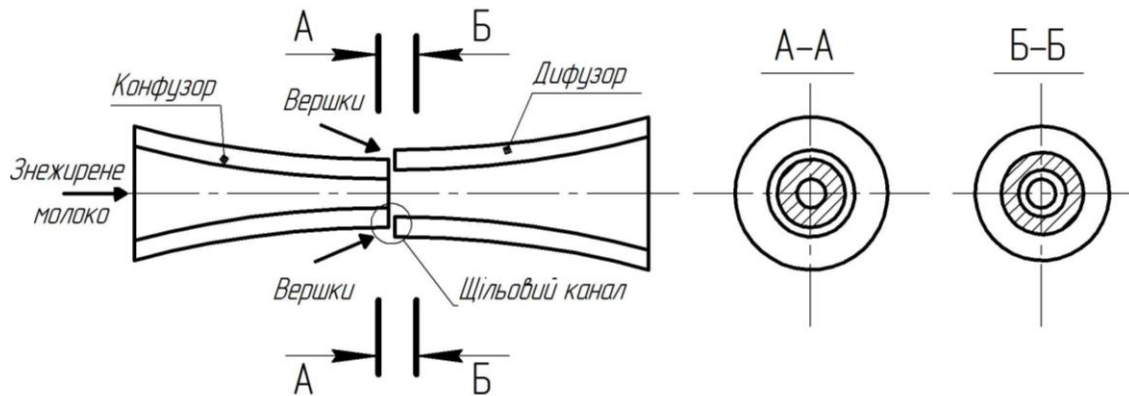


Рис. 3. Схема щілинного струминного гомогенізатора молока.

Конструкція щілинного гомогенізатора молока може мати можливість регулювати величину щілини для підвищення якості продукту. Виконання каналів подачі вершків щілинної форми дозволяє:

- подавати жирову фазу до швидкісного потоку знежиреного молока у вигляді тонкого шару, що забезпечує більш дрібний розмір жирових кульок,
- змінювати площу щілинних каналів, що збільшить об'єм вершків, що надходять до гомогенізатора, і, отже, підвищить його продуктивність.

Знежирене молоко під тиском подається до малого діаметра конфузора, при проходженні через який його швидкість збільшується. У місці виходу з конфузора потік знежиреного молока підсмоктує до камери вершки крізь патрубок. Цей ефект досягається за рахунок створення зони зниженого тиску. У точці входження тонкого шару дисперсної фази до потоку дисперсійного середовища спостерігається висока різниця швидкостей між жировою кулькою та плазмою молока. Отже, в даному конструктивному рішенні забезпечується необхідне критичне значення критерію Вебера, необхідне для подрібнення жирової фази молока.

Даний тип гомогенізатора забезпечує високу якість диспергування часток жиру, має можливість регулювання жирності продукту. Існує теоретична можливість зробити дану конструкцію за принципом клапанної щілини, що підвищить якість кінцевого

продукту. До недоліків конструкції слід віднести необхідність попереднього сепарування вершків.

Окремо необхідно відзначити конструкцію протитечійно – струминного гомогенізатора молока, в якому гомогенізація відбувається при зіткненні двох струменів молока (рис. 4).

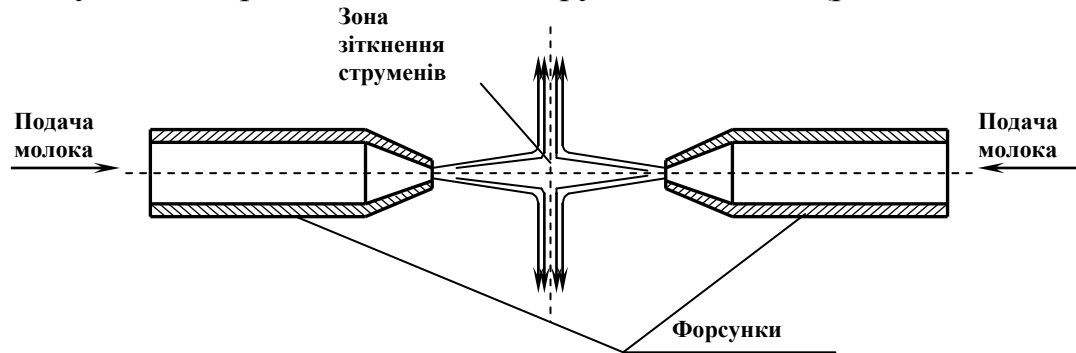


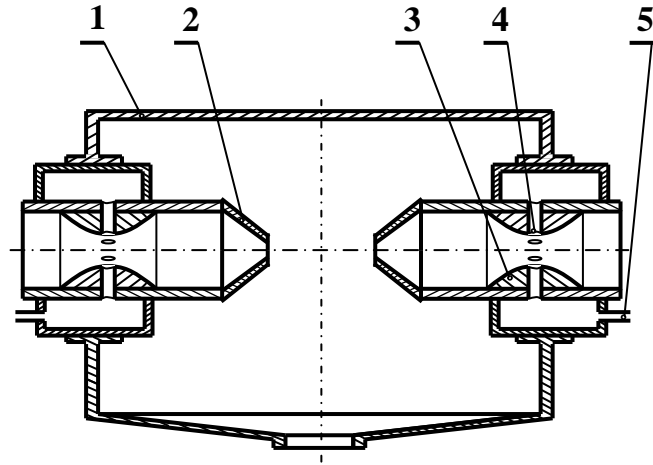
Рис. 4. Схема протитечійно – струминного гомогенізатора молока.

Працює даний гомогенізатор наступним чином. При зіткненні двох струменів молока доведено, що дисперсна фаза має більшу швидкість відносно дисперсійного середовища плазми молока. Отже, при зіткненні струменів молока за рахунок кумулятивного ефекту та реалізації необхідної різниці швидкостей молока та вершків забезпечуються необхідні для подрібнення значення критерію Вебера.

Протитечійно – струменевий гомогенізатор був запропонований та вивчався К.О. Самойчуком [7], ним для даного типу гомогенізатора були отримані наступні дані (при проведенні гомогенізації у повітрі). При надлишковому тиску 4 – 6 МПа досягається ступінь гомогенізації 3,5 – 4. Витрати енергії цього типу гомогенізатора дорівнюють в означеному діапазоні якості продукту 5 – 6 кВт/т продукту. Згідно отриманих розрахунків, при числах Вебера 500 – 600 та швидкості знежиреного молока 150 – 200 м/с розміри часток складуть приблизно 1 мкм.

Оскільки жирова фаза не відокремлюється від плазми молока, різниця швидкостей фаз продукту буде невеликою, що можна віднести до недоліків конструкції. Інші конструкції струминних гомогенізаторів молока з роздільним подаванням жирової фази будуть мати перевагу над протитечійно струменевим зразком у тому, що в них не буде відбуватись дестабілізації білкової фази продукту, що приводить до утворення піни в продукті. Однак у даному гомогенізаторі є можливість проведення гомогенізації без попередньої сепарації продукту, що приведе до економії енергії та відрізняє дану конструкцію від інших розглянутих у статті.

Ще одним можливим технічним рішенням з диспергування жирової фази може стати струминний гомогенізатор молока з роздільним подаванням жирової фази форсунками (рис. 5).



1 – корпус гомогенізатора; 2 – форсунки; 3 – кільцеве звуження форсунок; 4 – канали для ежектування вершків; 5 – отвори каналів для подачі вершків.

Рис. 5. Схема струминного гомогенізатора молока з роздільним подаванням жирової фази форсунками.

Як показано на рис.5, пристрій складається з корпусу 1 та співвісно встановлених форсунок 2, по центру яких виконано кільцеве звуження 3. У місці найбільшого звуження потоку під прямим кутом до вісі форсунок 2 крізь канали 4 ежектуються вершки, що подаються крізь отвори 5. Використання форсунок такої конструкції робить можливим отримувати розрідження потоку дисперсійної фази для подальшого ежектування дисперсної фази до потоку знежиреного молока. При цьому різниця швидкостей молока та вершків досягає необхідних для диспергування значень [8].

До переваг конструкції слід віднести можливість проведення гомогенізації разом з нормалізацією та можливість регулювання жирності продукту. До недоліків відносяться високі енергетичні витрати для створення високої швидкості потоку знежиреного молока.

Висновки. У статті розглянуто 5 можливих конструктивних рішень подавання жирової фази, заснованих на принципі забезпечення різниці швидкостей дисперсійної та дисперсної фаз продукту. За результатами аналізу слід відзначити, що конструкція з зіткненням струменів у плазмі молока характеризуються дещо більшими витратами енергії відносно інших конструкцій, заснованих на ефекті ежекції. При цьому якість продукту в цих типах конструкцій, зокрема, в конструкції із зіткненням струменів, може досягати якості

клапанних гомогенізаторів. Конструкції струминного гомогенізатора з роздільним подаванням жирової фази, щілинного гомогенізатора та гомогенізатора з роздільним подаванням жирової фази форсунками дозволяють регулювати жирність продукту. Енергетичні витрати цих конструкцій нижче як за рахунок поєднання гомогенізації з нормалізацією, так і за рахунок використання ефекту ежекції. Однак, в усіх конструкціях необхідна попередня сепарація вершків. Якість продукту в цих конструкціях, зокрема, в струминному гомогенізаторі з роздільним подаванням жирової фази буде незначно нижчою у конструкції з зіткненням струменів у плазмі та складатиме при надлишковому тиску знежиреного молока 3 – 4 МПа $d=1,0 - 1,1$ мкм.

Література:

1. *Фиалкова Е.А.* Гомогенизация. Новый взгляд: Монография–справочник / Е.А. Фиалкова – Спб.: ГИОРД, 2006. – 392с
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.* Використання нормалізації у струминному гомогенізаторі молока з роздільною подачею вершків / К.О. Самойчук, О.О. Ковальов// Праці ТДАТУ.: Мелітополь – 2014. – Вип.14, Т.1. – С. 37-45.
4. *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.
5. *Самойчук К.О.* Обоснование основных параметров струйного гомогенизатора молока /К.О. Самойчук, А.А. Ковалев, Н.А. Палянычка // Международный научный институт «Educatio»: Новосибирск – 2015 №9, Ч1. С114 – 118.
6. *Пажи Д.Г.* Основы техники распыливания жидкости / Д.Г. Пажи, В.С. Галустов. – М.: Химия, 1984. – 256 с.
7. *Самойчук К.О.* Обґрунтування параметрів та режимів роботи протитечійно-струменевого гомогенізатора молока: автореферат канд. техн. наук, спец.: 05.18.12 - процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та фармацевтичних виробництв/ К.О. Самойчук.–Донецьк: МОН Укр. Донецький нац. ун-т економіки і торгівлі ім. М. Туган-Барановського, 2008. — 20 с.
8. Пат. 7777, Україна, МКИ5 А 01 J 11/16. Спосіб гомогенізації молока / К.О. Самойчук, О.В. Гвоздєв, Ф.Ю. Ялпачик ; заявитель и патентообладатель Таврійська державна агротехнічна академія. – № 20041008860 ; заявл. 29.10.2004; опубл. 15.07. 2005. Бюл. № 7.

КОНСТРУКЦИИ СТРУЙНЫХ ДИСПЕРГАТОРОВ ЖИРОВОЙ ФАЗЫ МОЛОКА

Дейниченко Г.В., Самойчук К.О., Ковалев А.А.

Аннотация – в статье рассмотрены возможные варианты конструкций струйных гомогенизаторов молока с отдельной подачей сливок и со столкновением струй. Выполнен анализ преимуществ и недостатков предложенных конструкций гомогенизаторов.

CONSTRUCTIONS OF JET MIXING DISPERGATORS OF MILK FAT PHASE

G. Deinychenko, K. Samoichuk, O. Kovalyov

Summary

In article is showing possible ways of designing construction jet-mixing homogenizers of milk with the separated giving of creams and the construction with the jet crushing are considered. The advantages and disadvantages construction of milk homogenizers are analysed.