

ДОСЛІДЖЕННЯ ВИСОКОЕФЕКТИВНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ГОМОГЕНІЗАЦІЇ ДРІБНОДИСПЕРСНИХ ЕМУЛЬСІЙ З ВИКОРИСТАННЯМ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Самойчук К. О., д.т.н.,

ORCID: 0000-0002-3423-3510

Паляничка Н. О., к.т.н.,

ORCID: 0000-0001-8510-7146

Верхоланцева В. О., к.т.н.

ORCID: 0000-0003-1961-2149

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

Тел. (0619) 42-13-06

Постановка проблеми. Процес отримання дрібнодисперсних емульсій шляхом гомогенізації широко розповсюджений в сільському господарстві, хімічній, фармацевтичній, переробній та інших галузях промисловості [1]. В сільському господарстві, наприклад, диспергування є невід'ємною частиною виробництва олійних та концентрованих емульсій пестицидів. В фармацевтичному виробництві процес диспергування є особливо важливим при виробництві інгаляційних засобів, емульсій для внутрішньовенного введення та лізатів (клітинних екстрактів бактерій, дріжджів, водоростей). В косметологічній та парфумерній промисловості гомогенізацію використовують для приготування ароматичних композицій з масел, які дуже важко з'єднуються.

Однак, все ж найбільшого розповсюдження процес отримання дрібнодисперсних емульсій шляхом гомогенізації отримав в переробній та харчовій промисловості. Гомогенізація дозволяє запобігти розшаруванню в процесі зберігання таких харчових продуктів як: яєчні меланжі та суміші на їх основі; згущеного молока комбінованого складу; сумішей для морозива (підготовка суміші "молочна основа – рослинний жир"); майонез, маргарин, кетчуп та ін.

В молочній промисловості процес гомогенізації молока – є одним із найголовніших технологічних процесів виробництва питного стерилізованого та пастеризованого молока, кисломолочних продуктів, морозива, молочних консервів, виготовленні сиру тощо. Гомогенізація жирових часток до мікроскопічних розмірів підвищує харчову цінність молока, а також покращує його сенсорно-смакові властивості. Після гомогенізації молоко набуває більш однорідний колір, смак та жирність; покращується його консистенція, підвищується інтенсивність білого кольору; зменшується поява жирової плівки при кип'ятінні, що в свою чергу зберігає сухі речовини молока та збільшується засвоюваність (по показнику

перетравлювання жиру гомогенізоване молоко відповідає кип'яченому). Якість продуктів з використанням гомогенізованого молока набагато вища.

Однак поряд з тим, що даний технологічний процес є дуже важливим, він також є і самим енерговитратним [2]. Основною технічною проблемою одержання тонкодисперсних емульсій є обмеженість можливостей гомогенізаторів. Тому створення пристроїв і способів одержання тонкодисперсних емульсій з можливістю варіювання дисперсності і високою продуктивністю має підвищену актуальність.

Аналіз останніх досліджень. Дослідженням процесу диспергування диспергування жирової фази молока займалися багато вчених, таких, як Н. В. Барановський, В. В. Вайткус, В. Я. Грановський, А. А. Долинський, М. М. Ліпатов, Є. В. Нужин, М. М. Орешина, Є. О. Фіалкова, F. Innings, T. Glawdel, C. Liu, Y. Lu, C. Trägårdh. [2,3,4,5,6]. Однак, слід зазначити, що більшість запропонованих пристроїв потребують подальшого вдосконалення, щоб отримати більш оптимальні показники ступеню диспергування та енерговитрат на процес диспергування.

В наслідок проведеного аналізу було визначено, що найбільш перспективним типом гомогенізатора, який дозволяє отримати високу ступінь диспергування емульсії, при невисоких енерговитратах на процес є імпульсний гомогенізатор. Таким чином, вирішено було продовжити проводити дослідження даного способу отримання дрібнодисперсних емульсій.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Метою даної статті є дослідження вискоефективного обладнання для гомогенізації дрібнодисперсних емульсій (на прикладі молока) з використанням комп'ютерного моделювання для встановлення найбільш оптимальних технологічних параметрів процесу диспергування, які дозволять отримати високу якість готової продукції при низьких енерговитратах.

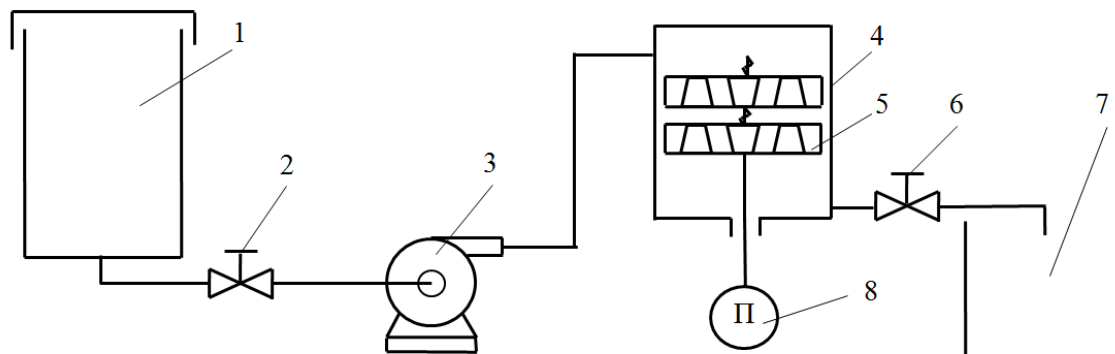
Основна частина. В результаті проведеного дослідження було визначено, що значно знизити витрати енергії на процес гомогенізації, при високій якості отриманої емульсії, можливо, якщо використовувати імпульсний спосіб гомогенізації.

Пристрій для імпульсної гомогенізації молока (рис. 1) складається з робочої камери імпульсного гомогенізатора 4 з поршнями-ударниками 5, які приводяться в коливальні рухи через шток 9 приводом 8. Основний поршень-ударник жорстко закріплений на штоку, а додатковий з'єднується з основним за допомогою пружини. Для можливості регулювання частоти коливання поршня-ударника використовується електродвигун постійного струму. Для

зміни амплітуди коливання поршня-ударника використовується регульований кривошип [7].

В нижній частині камери розташований вентиль для відводу молока після гомогенізації в ємність 7.

Молоко в робочу камеру гомогенізатора з приймальної ємності 1 подається насосом 3. Вентиль 2 служить для подавання молока під необхідним тиском в насос і робочу камеру гомогенізатора.



1, 7 – технологічні ємності; 2, 6 – перепускні крани; 3 – насос; 4 – робоча камера гомогенізатора; 5 – поршні-ударники; 8 – імпульсний привод.

Рис. 1. Принципова схема установки для дослідження імпульсної гомогенізації молока.

Диспергування жирових кульок молока в імпульсному типі гомогенізатора відбувається за рахунок градієнту швидкості потоку емульсії, який виникає завдяки імпульсним коливанням поршня-ударника. Однак, якщо поршень-ударник буде коливатися з однією частотою, то градієнт швидкості буде малим.

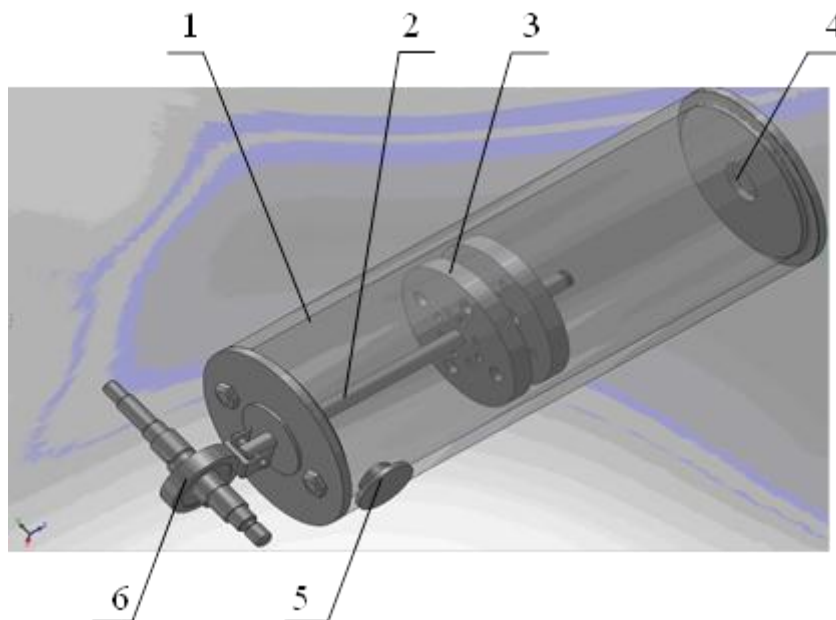
Одним з ефективних способів вирішення даної задачі є встановлення додаткового поршня-ударника, який буде зв'язаний з основним за допомогою пружини. Даний поршень за рахунок підпружинення коливається значно інтенсивніше за основний поршень і тим самим створює два ступені гомогенізації: між поршнями та за додатковим поршнем.

Однак визначити градієнт швидкості потоку емульсії досить складно. Тому для спочатку вирішено провести розрахунок швидкості потоку молока, яка виникає під час імпульсної гомогенізації за допомогою комп'ютерного моделювання із застосуванням універсальної програмної системи кінцево-елементного аналізу Ansys Workbench [8,9]. Дана програма має модуль CFX, який дозволяє ефективно і надійно проводити розрахунки, зв'язані з динамікою рідин та газів.

В імпульсному гомогенізаторі швидкість потоку молока головним чином залежить від амплітуди коливання поршня-ударника і частоти коливань. Тільки визначення залежності швидкості від

параметрів імпульсного гомогенізатора дасть можливість перейти до визначення ефективності гомогенізації.

Маючи необхідне уявлення про модель робочої камери і попередньо розраховані геометричні параметри гомогенізатора, за допомогою системи автоматизації проектних робіт в трьох вимірах Solidworks була спроектована робоча модель камери імпульсного гомогенізатора (рис. 2) [10].



1 – циліндр; 2 – шток; 3 – поршні-ударники; 4 – патрубок підведення вихідного молока; 5 – патрубок відведення гомогенізованого молока; 6 – кривошипний механізм.

Рис. 2. Модель робочої камери імпульсного гомогенізатора виконана в Solidworks.

Далі дана модель була інтегрована безпосередньо в модуль CFX на базі платформи Ansys Workbench. Для отримання більш точних результатів розрахунку динаміки рідини і газів використовували останню версію системи створення сітки Ansys Meshing.

В якості вихідних даних для розрахунку в програмі Ansys Workbench були внесені геометричні параметри імпульсного гомогенізатора та фізико-хімічні властивості молока. Діаметр робочої камери було прийнято $D = 0,3$ м; довжина робочої камери визначалася згідно діаметру камери, та мала значення $L = 0,5$ м; діаметри отворів в поршні-ударнику були прийняті $d_{вих} = 0,008$ м; $d_{вх} = 0,002$ м, кількість отворів в поршні-ударнику $n = 16$; товщина поршнів-ударників $S_{пор} = 12$ мм; амплітуда коливань $h = 2...12$ мм; частота коливань поршня-ударника $f = 45...55$ Гц.

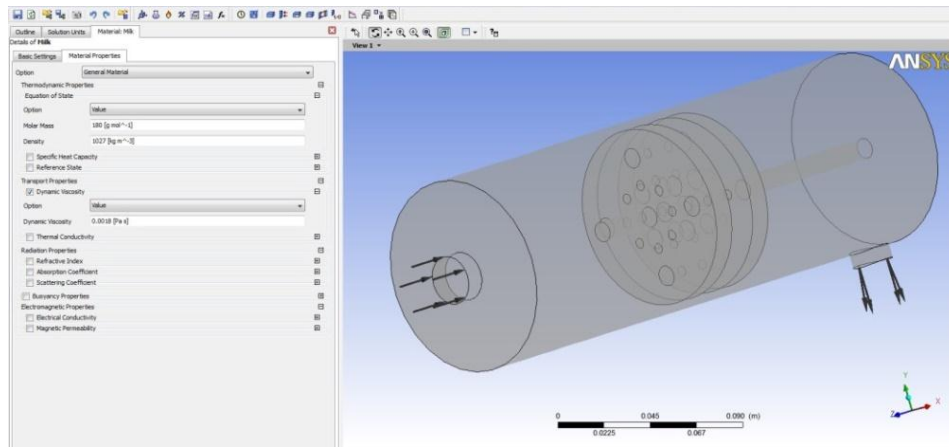


Рис. 3. Вікно вихідних даних в Ansys Workbench.

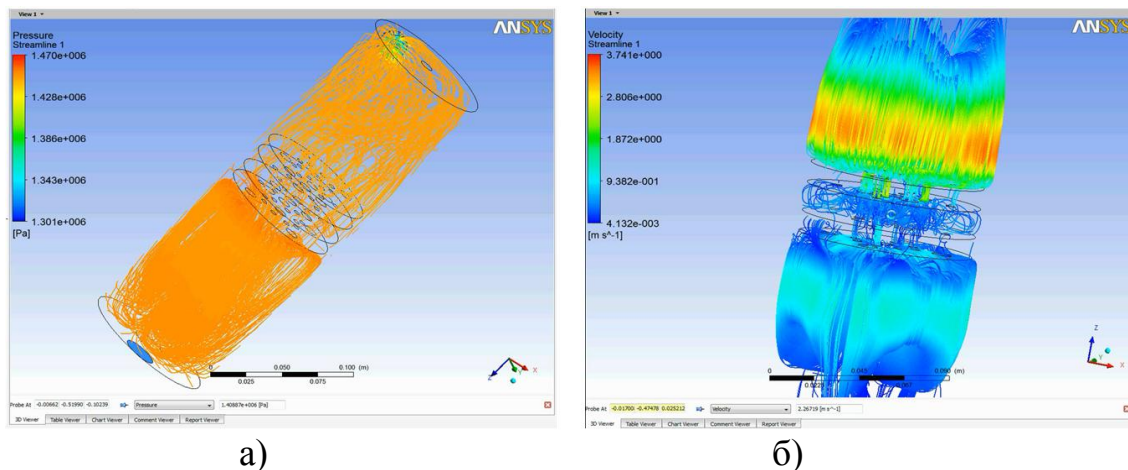
Спочатку, для зручності проведення дослідження розрахункову область було розподілено на дві частини: область проходження молока крізь отвори в поршні-ударнику та область проходження молока в зазорі між поршнем-ударником і циліндром.

Перший етап обчислення включав в себе виконання стаціонарного розрахунку методом фіксованого ротору (Frozen rotor). Це дозволило провести попередню оцінку розподілу тиску і швидкостей по об'єму робочого циліндру. Крім того, отримані дані дали можливість зробити висновок, що найбільш доцільною частотою коливання поршня-ударника для імпульсного гомогенізатора становить 55 Гц. Оскільки при меншій амплітуді швидкість потоку молока дуже мала, тобто можна припустити, що процес гомогенізації при такій частоті відбуватися не буде. А при збільшенні частоти коливання поршня-ударника швидкість потоку збільшується не значно, але потужність, в свою чергу, при цьому навпаки дуже сильно зростає (в 1,5 рази).

Для розрахунку нестационарного потоку молока було розглянуто амплітудний діапазон в 12 мм. Даний інтервал був розділений на 6 кроків. В результаті похибка по більшості рівнянь не перевищувала 10^{-5} . Така точність сповна прийнятна для якісної оцінки динаміки течії [9].

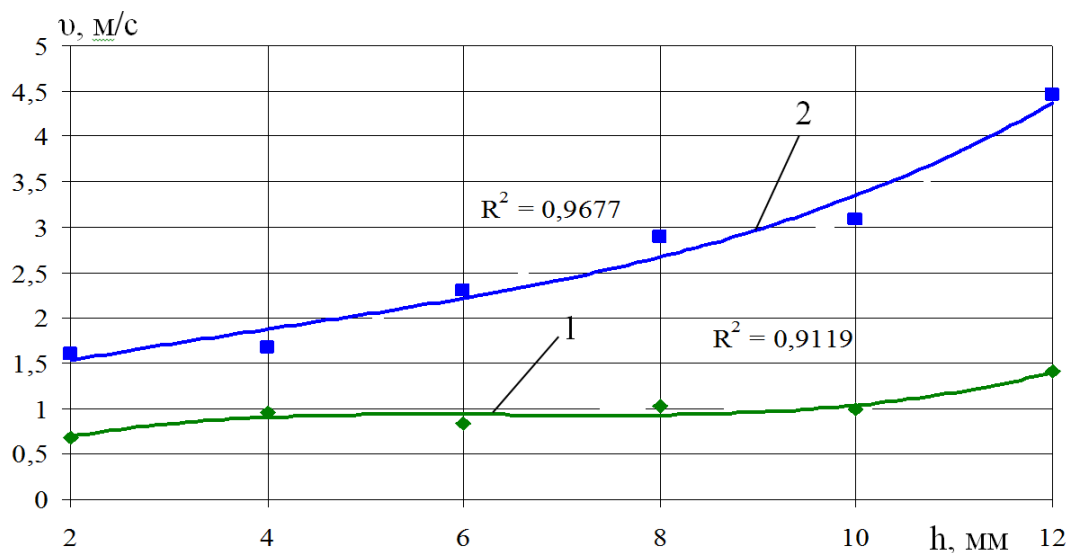
В результаті проведеного моделювання та розрахунку були отримані трьохвимірні графіки розподілу тиску та швидкості потоку при проходженні крізь отвори поршня-ударника та у зазорі між поршнем-ударником і циліндром робочої камери в залежності від амплітуди коливання (рис.4).

Отримані в результаті даного розрахунку дані є вихідними для побудови графіку залежності значення швидкості потоку молока на виході з першого і другого поршнів від амплітуди коливання поршня-ударника імпульсного гомогенізатора (рис. 5).



а) тиску; б) швидкості потоку молока проходженні крізь отвори поршня-ударника та у зазорі між поршнем-ударником і циліндром робочої камери.

Рис. 4. Трьохвимірні графіки ліній розподілу току виконані в Ansys Workbench.



1 – на виході з першого поршня-ударника; 2 – на виході з другого поршня-ударника.

Рис. 5. Графік залежності швидкості потоку молока на виході з поршнів-ударників імпульсного гомогенізатора від амплітуди коливання поршня-ударника.

Результати отриманих даних дають можливість визначити, як змінюється швидкість потоку молока, а відповідно і градієнт швидкості, який призводить до диспергування емульсії в імпульсному гомогенізаторі в залежності від технологічних параметри роботи імпульсного гомогенізатора. Проведені розрахунки показали, що максимальне значення швидкості потоку молока при проходженні його через отвори поршня-ударника 15,44...17,84 м/с та при проходженні крізь зазор між робочою камерою і поршнем-ударником 12,92...15,2 м/с досягається при значенні амплітуди коливання 10...12

мм, при цьому тиск, який утворюється в середині робочої камери становить 1,44...1,49 МПа. Тому, оптимальними технологічними параметрами для диспергування в імпульсному гомогенізаторі слід вважати частоту коливання $f = 55$ Гц, а амплітуду коливання поршня-ударника $h = 10...12$ мм.

Слід також відмітити, що завдяки комп'ютерному моделюванню та проведеним розрахункам в програмі Ansys Workbench було визначено ступінь гомогенізації, який можливо отримати при обробці молока в імпульсному гомогенізаторі та енерговитрати, які витрачаються на процес. Згідно проведених розрахунків було встановлено, що ступінь гомогенізації в імпульсному гомогенізаторі становить $N_m = 4...5$, а енерговитрати на процес при цьому складають 0,82 Дж/кг.

Висновки. Нині актуальним залишається питання дослідження технологічного обладнання для гомогенізації дрібнодисперсних емульсій з метою виявлення найбільш високоефективних апаратів, які дають можливість отримати високу якість готової емульсії при низьких енерговитратах на процес. Приведені дослідження показали, що перспективним способом отримання високоякісного продукту є імпульсна гомогенізація. Для досліджень використовувалось комп'ютерне моделювання за допомогою програми Ansys Workbench. В результаті проведених розрахунків було встановлено, що ступінь гомогенізації в імпульсному гомогенізаторі становить $N_m = 4...5$, а енерговитрати на процес при цьому складають 0,82 Дж/кг.

Список використаних джерел

1. Дейниченко Г. В., Самойчук К. О., Івженко А. О., Левченко Л. В. Аналіз конструкцій гомогенізаторів молочної промисловості. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2016. Вип. 16, т. 1. С. 9-15.
2. Нужин Е. В., Гладушняк А. К. Гомогенизация и гомогенизаторы: монография. Одесса: Печатный дом, 2007. 264 с.
3. Innings F., Trägårdh C. Visualization of the Drop Deformation and Break-Up Process in a High Pressure Homogenizer. *Chemical Engineering & Technology*. 2005. Vol. 28, № 8. P. 882–891. DOI: 10.1002/ceat.200500080.
4. Фиалкова Е. А. Гомогенизация. Новый взгляд. Монография–справочник. Санкт-Петербург: ГИОРД, 2006. 392 с.
5. Орешина М. Н. Импульсное диспергирование многокомпонентных пищевых систем и его аппаратная реализация: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.18.12. Москва, 2010. 50 с.
6. On flow-fields in a high pressure homogenizer and its implication on drop fragmentation / A. Håkansson et al. *Procedia Food Science*. 2011. № 1. P. 1353–1358. DOI: 10.1016/j.profoo.2011.09.200.

7. Паляничка Н. О. Використання енергоефективного обладнання для диспергування емульсій. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2020. Вип. 20, т. 1. С. 26-34.

8. Каплун А. Б., Морозов Е. М., Олферьева М. А. ANSYS в руках инженера: Практическое руководство. Москва: Едиториал, 2003. 272 с.

9. Moaveni S. Finite Element Analysis Theory and Application with ANSYS. Pearson, 2008. 868 p.

10. Гвоздєв О. В., Самойчук К. О., Паляничка Н. О. Комп'ютерне моделювання імпульсного гомогенізатора молока з використанням програмного забезпечення Ansys Workbench. *Обладнання та технології харчових виробництв*. Донецьк, 2012. Вип. 28. С. 294-299.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВИСОКОЕФЕКТИВНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ГОМОГЕНІЗАЦІЇ ДРІБНОДИСПЕРСНИХ ЕМУЛЬСІЙ З ВИКОРИСТАННЯМ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Самойчук К. О., Паляничка Н. О., Верхоланцева В. О.

Анотація

Стаття присвячена актуальному питанню дослідження технологічного обладнання для гомогенізації. Встановлено, що сучасне обладнання, яке використовується для отримання дрібнодисперсних емульсій потребує вдосконалення з метою зниження енерговитрат на процес гомогенізації та підвищення якості готового продукту. Теоретичні розрахунки проводились з використанням комп'ютерного моделювання за допомогою програми Ansys Workbench. В результаті проведеного дослідження було встановлено, що ступінь гомогенізації в імпульсному гомогенізаторі становить $N_m = 4 \dots 5$, а енерговитрати на процес при цьому складають 0,82 Дж/кг. Це високі показники, які доводять ефективність використання імпульсної гомогенізації для отримання дрібнодисперсних емульсій.

Ключові слова: дослідження, комп'ютерне моделювання, гомогенізація, енерговитрати, імпульсний гомогенізатор, якість, ступінь гомогенізації, дрібнодисперсна емульсія.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ГОМОГЕНИЗАЦИИ МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ ЭМУЛЬСИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Самойчук К. О., Паляничка Н. А., Верхоланцева В. А.

Аннотация

Статья посвящена актуальному вопросу исследования технологического оборудования для гомогенизации. Установлено, что современное оборудование, используемое для получения мелкодисперсных эмульсий требует усовершенствования с целью снижения энергопотребления на процесс и повышения качества готовой продукции. Теоретические расчеты проводились с

использованием компьютерного моделирования при помощи программы Ansys Workbench. В результате проведенного исследования было установлено, что степень гомогенизации в импульсном гомогенизаторе составляет $H_m = 4...5$, а энергопотребление на процесс - 0,82 Дж/кг. Это высокие показатели, которые доказывают эффективность применения импульсной гомогенизации для получения мелкодисперсных эмульсий.

Ключевые слова: исследования, компьютерное моделирование, гомогенизация, энергопотребление, импульсный гомогенизатор, качество, степень гомогенизации, мелкодисперсная эмульсия.

RESEARCH OF HIGHLY EFFICIENT EQUIPMENT FOR HOMOGENIZATION OF SMALL EMULSIONS USING COMPUTER SIMULATION

K. Samoichuk, N. Palianychka, V. Verkholtantseva

Summary

The article is devoted to the topical issue of research of technological equipment for homogenization. It is established that the modern equipment used for obtaining fine emulsions needs improvement in order to reduce energy consumption for the homogenization process and improve the quality of the finished product. The analysis showed that the most promising type of homogenizer, which allows to obtain a high degree of dispersion of the emulsion, at low energy consumption for the process is a impulse homogenizer. Dispersion of milk fat globules in the impulse type of the homogenizer occurs due to the gradient of the emulsion flow rate, which occurs due to pulse oscillations of the piston-drummer. However, to determine the gradient of the emulsion flow rate is quite difficult. Therefore, it was first decided to calculate the milk flow rate that occurs during pulse homogenization using computer simulation using a universal software system of finite element analysis Ansys Workbench. This program has a CFX module that allows you to efficiently and reliably perform calculations related to the dynamics of liquids and gases. As a result of the simulation and calculation, three-dimensional graphs of pressure and flow velocity distribution were obtained when passing through the percussion piston holes and in the gap between the percussion piston and the working chamber cylinder depending on the oscillation amplitude. It through the holes of the percussion piston 15,44... 17,84 m/s and when passing through the gap between the working chamber and the percussion piston 12,92... 15,2 m/s is achieved when the value of the oscillation amplitude 10...12 mm, while the pressure formed in the middle of the working chamber is 1,44... 1,49 MPa. The optimal technological parameters for dispersion in a impulsive homogenizer should be considered the oscillation frequency $f = 55$ Hz, and the amplitude of oscillation of the piston-drummer $h = 10... 12$ mm. Through computer simulations and calculations, Ansys Workbench determined the degree of homogenization that can be obtained from the milk processing in the pulse homogenizer and the energy consumption spent on the process. According to the calculations, it was found that the degree of homogenization in the pulse homogenizer is $H_m = 4...5$, and the energy consumption for the process is 0.82 J/kg. These are high values that prove the efficiency of pulsed homogenization to obtain fine emulsions.

Key words: research, computer modeling, homogenization, energy consumption, impulse homogenizer, quality, degree of homogenization, fine emulsion.