

## ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КЛАПАННОЇ ГОЛОВКИ ГОМОГЕНІЗАТОРА ЗА РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ ЗУСТРІЧНИХ СТРУМЕНІВ

Самойчук К. О., д.т.н.,

ORCID: 0000-0002-3423-3510

Лебідь М. Р., аспірант,\*

ORCID: 0000-0002-5326-0792

Паляничка Н. О., к.т.н.

ORCID: 0000-0001-8510-7146

*Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного*

Тел. (0619) 42-13-06

*Постановка проблеми.* У молочній промисловості широко використовується гомогенізація для приготування продуктів однорідної консистенції. Гомогенізоване молоко має такі переваги, як поліпшення смакових та сенсорних властивостей, полегшення засвоюваності молочного жиру, підвищення стійкості під час транспортування і зберігання, рівномірний розподіл молочного жиру та пов'язаних із ним вітамінів.

Найбільш розповсюдженими апаратами для гомогенізації молока є клапанні гомогенізатори. Це обумовлено тим, що ступінь подрібнення молочного жиру в таких апаратах є найвищим порівняно з апаратами інших типів. Але клапанні гомогенізатори мають істотні недоліки: значні габаритні розміри і масу, високу металоємність, високі енерговитрати, швидкий знос робочих поверхонь клапана і досить високу вартість обладнання [1, 2].

*Аналіз останніх досліджень.* Сьогодні переважна більшість молока як сировини для виробництва питного молока, вершків та інших видів молочних продуктів гомогенізується. Основні переваги продуктів, виготовлених з використанням гомогенізації: забезпечення рівномірності кольору, смаку, вмісту жиру; поліпшення консистенції, збільшення інтенсивності білого кольору, підвищення стабільності при зберіганні, зменшення осідання жиру та створення більш повного смаку продукту.

Але гомогенізація є одним із найбільш енергоємних процесів у переважній більшості технологічних схем виробництва молочної продукції. Питоме споживання енергії найбільш часто використовуваних гомогенізаторів клапанів досягає 8 кВт-год і є найбільшим з обладнання для переробки молока.

В результаті спроб вирішити існуючі недоліки гомогенізації вчені розробили широкий спектр гомогенізаторів, таких як клапанні, пульсаційні, вакуумні, струменеві, ультразвукові тощо.

Однак жоден з них не поєднує високий ступінь подрібнення глобул молочного жиру (таких як клапани) з низьким споживанням енергії.

Основною причиною таких проблем є відсутність єдиної теорії та механізму диспергування тонкофазної фази жирових емульсій та труднощі з отриманням експериментальних візуальних даних процесу руйнування частинок жиру мікроскопічних розмірів.

Для гомогенізації молока і молочних продуктів в основному використовують клапанні гомогенізатори [1,2].

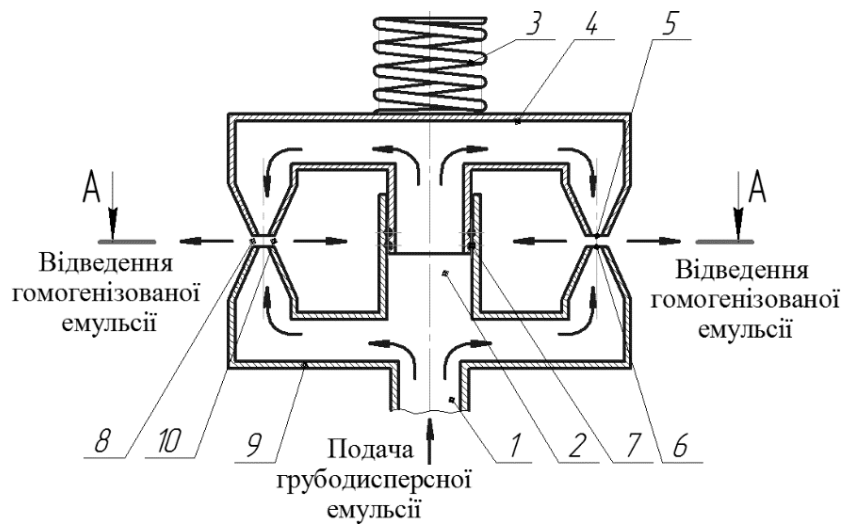
Клапанні гомогенізатори мають декілька істотних недоліків, а саме: високі енерговитрати, великий розмір та масу звідси і високу металоємність, швидкий знос робочих поверхонь клапану і досить високу вартість обладнання (близько 30 тис. долл. при продуктивності 5000 л/год.). Слід зауважити, що закордонні аналоги по цим показникам несуттєво відрізняються [3].

Через масове використання клапанних гомогенізаторів на підприємствах переробної та харчової промисловості, постає проблема енергозатратності процесу.

*Формування цілей статті(постановка завдання).* Метою даної статті є підвищення ефективності клапанної головки гомогенізатора за рахунок використання зустрічних струменів для забезпечення середнього діаметру жирових кульок після диспергування на рівні технологічно обумовлених значень та визначення потужності пристроїв для проведення гомогенізації. Для досягнення поставленої мети, вирішувалось декілька задач, зокрема потрібно було:

- провести розрахунки тиску в протитечійно-струминній головці;
- визначити швидкість подачі рідини;
- оцінка гідродинамічних параметрів;
- провести моделювання гідродинамічних параметрів протитечійно-струминної головки;
- розробити модель у CAD-системі Solidworks;
- провести розрахунки в програмній системі кінцево-елементного аналізу ANSYS;
- виділити напрями її подальшого вдосконалення.

*Основна частина.* В результаті аналізу конструкції клапанних гомогенізаторів можна зробити висновок, що для їх удосконалення доцільною є заміна клапанної головки на протитечійно-струминну. Таке вдосконалення дозволить зменшити енерговитрати і знизити знос деталей головки гомогенізатора. Схема протиточно-струминної головки зображено на рис. 1 [ 4, 5].



1 – канал подачі; 2 – центральний канал; 3 – притискний механізм; 4 – клапан; 5 – кільцеві канали клапана; 6 – кільцеві канали сідла; 7 – ущільнюючі кільця; 8 – зовнішня щілина між клапаном та сідлом; 9 – сідло; 10 – внутрішня щілина між клапаном та сідлом.

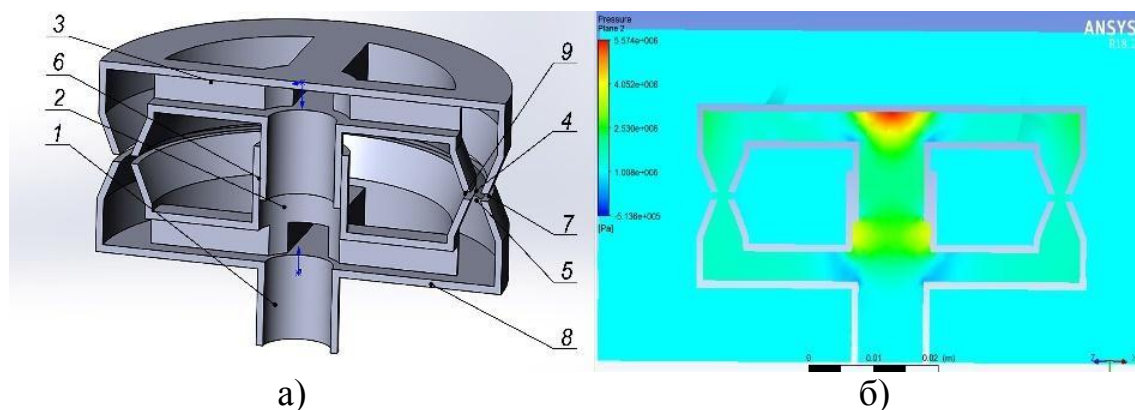
Рис. 1. Схема протиточно-струминної головки.

Головка гомогенізатора працює таким чином. Потік початкової гомогенізованої емульсії через канал подачі 1 під тиском надходить до центрального каналу 2, тисне на клапан 4 і, долаючи силу притискного механізму 3, підіймає його на певну висоту, в результаті чого утворюється щілина між сідлом 9 і клапаном 4 [7]. Після проходження центрального каналу 2 емульсія розділяється на два протилежно направлені потоки. При проходженні потоків емульсії через кільцеві канали клапана 5 і сідла 6 відбувається їх зіткнення та часткова гомогенізація, а саме взаємопроникнення дисперсних часток одного потоку у дисперсійну фазу іншого, завдяки чому утворюється різниця швидкостей між дисперсною часткою та дисперсійною фазою, необхідна для руйнування дисперсної частки. Після зіткнення двох протилежно направлених потоків емульсія розділяється і проходить через зовнішню 8 та внутрішню 10 кільцеву щілину між сідлом 9 та клапаном 4, де утворюється високий градієнт швидкості потоку, завдяки чому відбувається "просковзування" дисперсної частки відносно дисперсійної фази емульсії (утворюється різниця швидкостей між дисперсною часткою та дисперсійною фазою) і відбувається остаточна гомогенізація емульсії та відведення її з головки гомогенізатора.

Для оцінки гідродинамічних параметрів було розроблено модель у CAD-системі Solidworks і проведено розрахунки в програмній системі кінцево-елементного аналізу ANSYS (рис. 2) [6]. Комплекс ANSYS дозволяє моделювати випробування або умови

роботи, перевірити модель у віртуальному середовищі до виготовлення дослідних зразків продукції. ANSYS має потужний функціонал для додавання в розрахунок власних моделей, що робить його придатним як для промислового, так і для науково-дослідного застосування.

Данна конструкція передбачає, що грубодисперсна емульсія під тиском через канал подачі подається в центральний канал, після чого потрапляє в сідло і клапан, розділяючись на протилежно направлені потоки. Під час проходження їх через кільцеві канали клапана і сідла відбувається зіткнення потоків емульсії, завдяки чому утворюється різниця швидкостей між дисперсною частиною та дисперсійною фазою, яка необхідна для руйнування дисперсної частини [8].



а) – 3D-модель; б) – моделювання розподілу полів тиску в ANSYS: 1 – канал подачі; 2 – центральний клапан; 3 – клапан; 4 – кільцеві канали клапана; 5 – кільцевий канал сідла; 6 – ущільнюючі кільця; 7 – зовнішня щілина між клапаном і сідлом; 8 – сідло; 9 – внутрішня щілина між клапаном і сідлом.

Рис. 2. Протитечійно-струминна головка.

Розрахунки тиску в протитечійно-струминній головці показують, що при тиску подачі продукту 5,5 МПа максимальна його концентрація локалізується у верхній центральній частині клапана (до 5,5 МПа). У кільцевих каналах клапана і сідла тиск однаковий і сягає 1,5 МПа.

Розрахунки швидкості рідини показують, що при тиску подачі 5,5 МПа вона має максимальну швидкість 90–95 м/с у каналі подачі й центральному клапані [9]. Швидкість рідини в клапані перевищує швидкість у сідлі, внаслідок чого швидкість у кільцевих каналах клапана перевищує швидкість у кільцевих каналах сідла у 2 рази.

Проведене моделювання гідродинамічних параметрів протитечійно-струминної головки дозволяє виділити напрями її подальшого вдосконалення.

У головці є зони локального підвищення тиску, розташовані не в кільцевих каналах головки, що призводить до непродуктивного

підвищення енерговитрат [10]. Для усунення цього недоліку необхідно змінити форму внутрішніх поверхонь з'єднань каналів сідла і клапана з каналом подачі й центральним клапаном.

Зона максимальної швидкості потоку рідини концентрується переважно в каналі подачі. При виході з нього вона починає різко зменшуватися. Таким чином, під час руху до кільцевих каналів, на виході з яких відбувається гомогенізація, швидкість потоку зменшується в 2–4 рази і відрізняється в зустрічних потоках у 2 рази. Для ефективної гомогенізації потоки повинні мати однакову швидкість, для чого необхідно збільшити діаметр каналу подачі емульсії в головку.

*Висновки.* Запропоноване вдосконалення протитечійно-струминної головки клапанного гомогенізатора, за результатами комп'ютерного моделювання, дає змогу зменшити питомі енерговитрати у 3-5 разів. Це досягається за рахунок використання нової конструкції головки клапанного гомогенізатора без повної зміни нового гомогенізатора. При цьому вирішується проблема закупівлі нового обладнання. Завдяки такому вдосконаленню конструкції з'являється можливість суттєво зменшити енергетичні витрати лінії переробки молока на підприємствах харчової промисловості і молокозаводах.

### Список використаних джерел

1. Самойчук К. О. Розвиток наукових основ гідродинамічного диспергування молочних емульсій. Автореф. дис. на здобуття наук. ступеня доктора техн. наук. – Харків: ХДУХТ, 2018. 44 с.
2. Drankhar P. Homogenization fundamentals. *IOSR Journal of Engineering*. 2014. Vol. 4, № 5. P. 2-8.
3. Гвоздев О. В Пошук конструктивного рішення імпульсного гомогенізатора молока / О. В. Гвоздев, Н. О. Паляничка, В. М. Яворницький // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь, 2008. Вип.8, т.7. С. 28–32.
4. Фиалкова Е. А. Гомогенизация. Новый взгляд: монография–справочник / Е. А. Фиалкова. СПб: ГИОРД, 2006. 392с.
5. Нужин Е. В. Гомогенизация и гомогенизаторы: монография / Е. В. Нужин, А. К. Гладушняк. – Одесса: Печатный дом, 2007. 264 с.
6. Конюхов А. В. Основы анализа конструкций в Ansys / А. В. Конюхов. Казань, 2001. 102 с.
7. Пат. 106521, Україна, МКИ5 А01J 11/00, В01F 3/00. Головка гомогенізатора / Самойчук К. О., Дейниченко Г. В., Султанова В. О., Ялпачик Ф. Ю., заявник і патентовласник Таврійський державний агротехнологічний університет. № u201511243, заявл. 16.11.15, опубл. 25.04.2016. Бюл. № 8.
8. Самойчук К. О., Удуд В. І. Застосування

протитечійноструминної гомогенізації для вдосконалення процесу переробки молока / Самойчук К. О., Удуд В. І. // Праці третьої міжнародної практичної конференції – Харків – Мелітополь – Кирилівка, Україна 2019. 79 с.

9. Postelmans, A., Aernouts, B., Jordens, J., Van Gerven, T., Saeys, W. Milk homogenization monitoring: Fat globule size estimation from scattering spectra of milk. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 2020, 60 p.

10. Walstra, P., Geurts, T. J., Noomen, A., Jellema, A., Van Boekel M. A. J. S. Dairy technology: Principles of Milk Properties and Processes. Part II: Processes. New York: Marcel Dekker Inc, 199. 246 p.

## **ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КЛАПАННОЇ ГОЛОВКИ ГОМОГЕНІЗАТОРА ЗА РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ ЗУСТРІЧНИХ СТРУМЕНІВ**

Самойчук К. О., Лебідь М. Р., Паляничка Н. О.

### *Анотація*

Підвищення конкурентоспроможності молочних продуктів безпосередньо пов'язане з проблемою зменшення енергоємності процесу диспергування емульсії молока. Створюючи перспективні типи енергоефективних диспергаторів, необхідною умовою є вибір коректної аналітичної моделі, яка враховує специфіку процесу диспергування мікроемульсії жирного молока.

На основі критичного аналізу методів дослідження гомогенізаторів різних типів визначено основні напрямки їх вдосконалення, враховані при розробленому методі дослідження перспективного гомогенізатора молока.

Визначено переваги та недоліки процесу клапанної та протиточно-струминної гомогенізації. Представлено схему протиточно-струминної головки. Розроблено модель у САD-системі Solidworks і проведено розрахунки в програмній системі кінцево-елементного аналізу ANSYS.

**Ключові слова:** гомогенізація, емульсія, енергетичні витрати протиточно-струминна гомогенізація.

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КЛАПАННОЙ ГОЛОВКОЙ ГОМОГЕНИЗАТОРА ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВСТРЕЧНЫХ СТРУЙ**

Самойчук К. О., Лебедь М. Р., Паляничка Н. А.

### *Аннотация*

Создавая перспективные типы энергоэффективных диспергаторов, необходимым условием является выбор правильной аналитической модели, учитывающей специфику процесса диспергирования микроэмульсии жирного молока.

На основе критического анализа методов исследования гомогенизаторов различных типов, определены основные направления их совершенствования, учтены при разработанном методе исследования перспективного гомогенизатора молока.

Определены преимущества и недостатки процесса клапанной и противоточно-струйной гомогенизации. Представлена схема противоточно-

струйной головки. Разработана модель в CAD-системе Solidworks и проведены расчеты в программной системе конечно-элементного анализа ANSYS.

**Ключевые слова:** гомогенизация, эмульсия, энергетические затраты, противоточно-струйная гомогенизация.

## INCREASING EFFICIENCY OF THE VALVE OF THE HOMOGENIZER DUE TO THE USE OF COUNTER JETS

K. Samoichuk, M. Lebid, N. Palyanychka

### *Summary*

When creating promising types of energy-efficient dispersants, a necessary condition is the choice of a correct analytical model that takes into account the specifics of the process of dispersing the microemulsion of fat milk.

Based on a critical analysis of research methods of homogenizers of different types, the main directions of their improvement are determined, taken into account in the developed method of research of a promising milk homogenizer.

The advantages and disadvantages of the process of valve and counter-jet homogenization are determined. The improved design of the valve head provides that the coarse emulsion under pressure through the supply channel is fed into the Central channel, and then enters the seat and the valve, dividing into oppositely directed flows. As they pass through the annular channels of the valve and the seat, the emulsion flows collide, resulting in a velocity difference between the dispersed part and the dispersed phase, which is necessary for the destruction of the dispersed part.

The scheme of the countercurrent jet head is presented. A model in the CAD-system Solidworks was developed and calculations were performed in the software system of finite element analysis ANSYS.

Calculations of the fluid velocity show that at a supply pressure of 5.5 MPa, it has a maximum velocity of 90–95 m / s in the supply channel and the central valve. The speed of the fluid in the valve exceeds the speed in the seat, as a result of which the speed in the annular channels of the valve exceeds the speed in the annular channels of the seat 2 times.

The proposed improvement of the countercurrent-jet head of the valve homogenizer, according to the results of computer simulation, allows to reduce the specific energy consumption by 3-5 times. This is achieved by using a new design of the valve homogenizer head without completely changing the new homogenizer. This solves the problem of purchasing new equipment. With this design improvement, it is possible to significantly reduce the energy costs of the milk processing line in the food industry and dairies.

**Key words:** homogenization, emulsion, energy costs countercurrent homogenization.