

УДК 637.134

ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ОТВОРІВ ПОРШНЯ ПУЛЬСАЦІЙНОГО ГОМОГЕНІЗАТОРА МОЛОКА

Самойчук К.О., к.т.н.,*

Левченко Л.В., інженер,

Циб В.Г., ст. викладач.

Таврійський державний агротехнологічний університет

Тел. (06192) 42-13-06

Анотація – у статті наведено результати аналітичних досліджень впливу діаметра та форми отворів поршня пульсаційного гомогенізатора на ефективність диспергування молока.

Ключові слова – гомогенізація, пульсаційний апарат, вібрація, диспергування, молочна емульсія, отвори поршня.

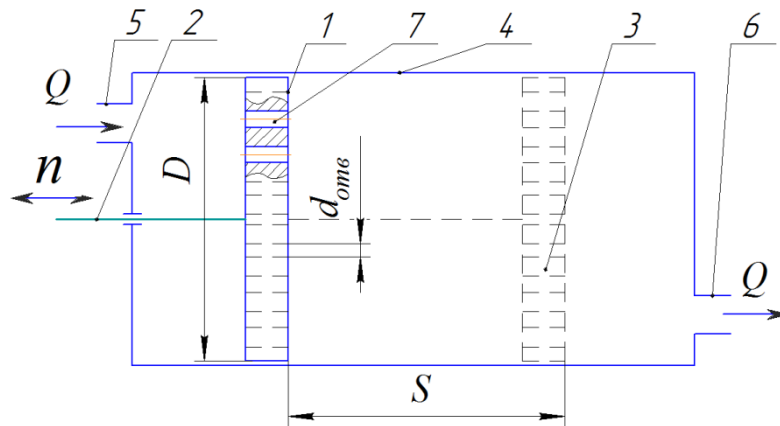
Постановка проблеми і її зв'язок із найважливішими науковими та практичними завданнями. У молочній промисловості однією з найбільш енерговитратних операцій є приготування високодисперсних емульсій [1, 2]. Значне розповсюдження найбільш енергоємних – клапанних гомогенізаторів у технологічних лініях переробки молока та виробництва молочних продуктів свідчить, що проблема зниження енергоємності машин і апаратів для гомогенізації до теперішнього часу не набула комплексного вирішення [3, 4].

Одним зі шляхів вирішення даної проблеми емульсії є більш ґрунтовні дослідження коливальних (вібраційних) процесів гомогенізації, і на цій основі розробка високоефективних пульсаційних гомогенізаторів молока [3, 4]. Основна перевага таких гомогенізаторів – розподілення енергії на межі розділу фаз: між жировими кульками та оточуючою плазмою молока, саме там, де це найбільш необхідно для отримання високого ступеня диспергування при мінімальних енерговитратах [3, 4, 5].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Пульсаційний гомогенізатор-диспергатор представляє собою камеру 4 з поршнем 1 діаметром D і товщиною h_p , у якому виконані отвори 7 діаметром $d_{отв}$ (рис. 1) [4–6]. Поршень приводиться у зворотно-поступальний рух штоком 2, який з'єднаний з приводом, що представляє собою електродвигун з кривошипним механізмом, який задає необхідну частоту n та амплітуду s коливання поршня. Продуктивність апарата визначається зовнішньою подачею продукту Q .

© Самойчук К.О., доцент, докторант; Левченко Л.В., аспірант, Циб В.Г., ст. викл.

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



1 – поршень; 2 – шток привода руху поршня; 3 – крайнє положення поршня; 4 – робоча циліндрична камера; 5 – патрубок подачі емульсії; 6 – патрубок відведення обробленої емульсії; 7 – отвори поршня.

Рис. 1. Схема пульсаційного диспергатора-гомогенізатора емульсій.

Ці дослідження є складовою циклу статей, присвячених визначенню параметрів пульсаційного гомогенізатора з одним поршнем при обробці молока. У попередніх публікаціях обґрунтовані формули, що пов'язують конструктивно-технологічні параметри гомогенізатора з його енергетичними та якісними показниками [4–7]. Уведено показник коефіцієнта гомогенізації K_2 , який пов'язує дисперсність з прискоренням жирової емульсії – основний параметр, яким визначається ступінь гомогенізації ПГ. Поршень ПГ характеризується коефіцієнтом живого перетину отворів K_0 , який показує долю площі поршня, зайняту отворами. Але вплив таких важливих показників, як діаметр і форма отворів поршня залишилось не розкритим.

Постановка завдання. Метою даної роботи є визначення параметрів отворів поршня пульсаційного гомогенізатора (ПГ) молока з одним поршнем та їх вплив на якісні та енергетичні показники його роботи.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Найбільш типові форми отворів для імпульсних гомогенізаторів це: конічний звужуючий насадок, циліндричний, колоїдальний, для яких

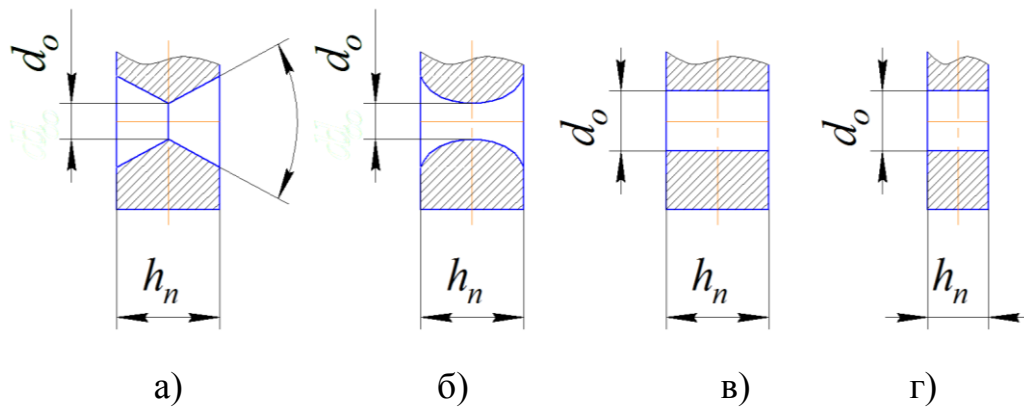
$$h_n/d_{ome} > 3. \quad (1)$$

і отвори у тонкій стінці, при умові

$$h_n/d_{ome} < 2. \quad (2)$$

З урахуванням зворотно-поступального руху поршня, емульсія крізь отвори поршня може проходити з обох боків, тому форма

отворів у поперечному перерізі, наприклад, при використанні конічної форми, має вигляд двох обернених конусів (рис. 2).



а) конічна, б) коноїдальна, в) циліндрична, г) отвір у тонкій стінці.

Рис. 2. Форми отворів у поршні ПГ гомогенізатора.

Внаслідок використання отворів у вигляді двох конусів (коноїд) мінімальна товщина поршня повинна бути збільшена у 2 рази в порівнянні з формулою (1)

$$h_n > 6d_o. \quad (3)$$

Тоді як для циліндричних отворів і отворів у тонкій стінці товщина поршня визначається з виразів, відповідно

$$h_n > 3d_o, \quad (4)$$

$$h_n < 2d_o. \quad (5)$$

З підвищенням коефіцієнта гомогенізації K_2 ступінь дисперсності знижується (рис. 3). Мінімальний діаметр жирової кульки можливо отримати при використанні форми отворів у вигляді двох конічних звужувачів з кутом конусності 49° , коефіцієнт швидкохідності для яких максимальний ($\varphi=0,98$). При використанні інших типів отворів (коноїдальних й отвору при $h_n/d_{отв} < 2$) зниження ступеня дисперсності дорівнює лише 3–5%.

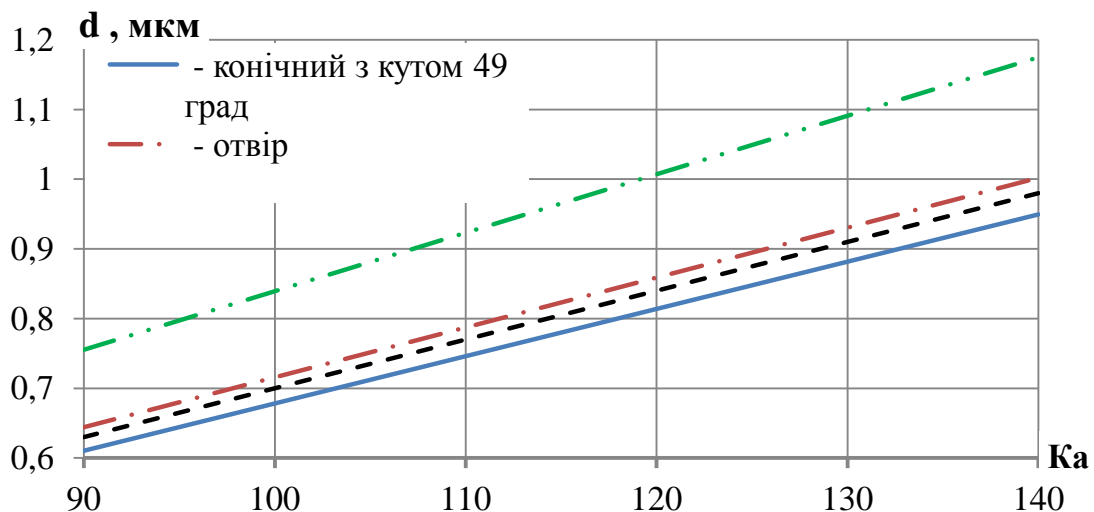


Рис. 3. Залежність середнього діаметра жирових кульок d від

коефіцієнта гомогенізації K_2 і форми отворів (при $r = 10$ мм, $n = 9000$ об/хв, $K_0 = 0,4$).

Використання циліндричних отворів з $h_n/d_o > 3$ неефективно, адже внаслідок найменшого значення коефіцієнта швидкості ($\varphi = 0,64$) середній діаметр жирових кульок підвищується на 24%.

Для підвищення прискорення і збільшення ступеня диспергування необхідно збільшувати φ . Найкраще цій вимозі відповідають отвори з конічними звужуючими насадками, з кутом конусності $\theta = 49^\circ$, для яких $\varphi = 0,98$.

Зростання коефіцієнта живого перетину отворів поршня призводить до зменшення швидкості емульсії у отворах поршня, що збільшує дисперсність жирової емульсії (рис. 4).

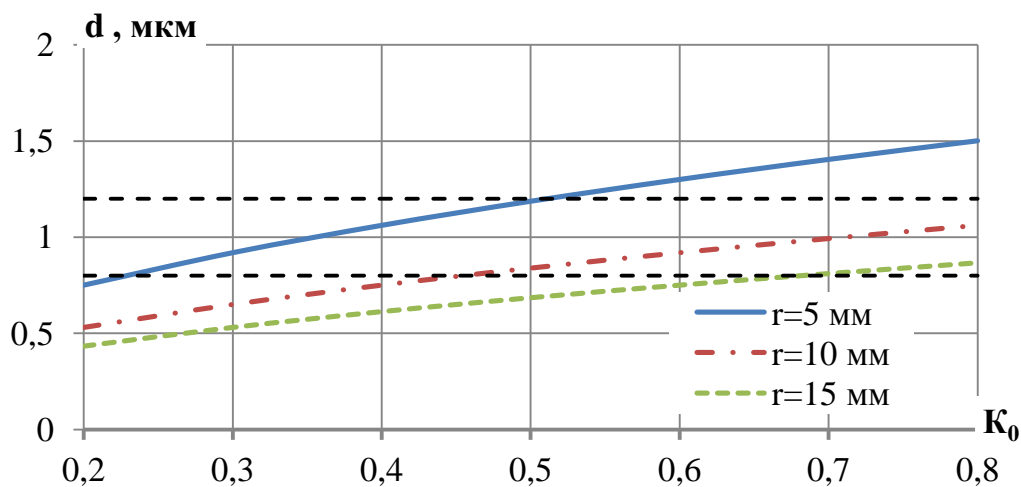


Рис. 4. Графік залежності середнього діаметра жирових кульок d від радіуса кривошипу r і коефіцієнта живого перетину поршня K_0 (середній діаметр жирових кульок молока до гомогенізації прийнято рівним 2,8 мкм, $K_2 = 100$, $n = 150$ с $^{-1}$, $\varphi = 0,82$).

При двократному збільшенні K_0 середній розмір жирових кульок зростає у 1,4 рази. Залежність K_0 для радіуса кривошипу має зворотний характер.

Таким чином, для зниження питомих енерговитрат і підвищення дисперсності емульсії необхідно використовувати поршень з мінімальною товщиною і щільністю матеріалу (для зниження маси поршня), а форму отворів поршня обирати з умови максимальних μ і φ . Таким умовам відповідають конічні звужуючі отвори з кутом конусності 49° ($\mu = 0,95$ і $\varphi = 0,98$) і коноїдальні ($\mu = 0,97$ і $\varphi = 0,96$). Циліндричні отвори мають менші значення $\mu = \varphi = 0,82$. Отвори при $h_n < 2d_o$ використовувати нераціонально через низький коефіцієнт витрат $\mu = 0,62$.

При використанні конічних отворів поршня з кутом конусності $\theta = 49^\circ$ з товщиною поршня, яка визначається за формулою (5), з

очевидних геометричних перетворень (рис. 5) отримаємо формулу

$$\operatorname{tg} \frac{\theta}{2} = \frac{D_o - d_o}{h_n}, \quad (6)$$

де D_o – більший діаметр отвору в поршні, м.

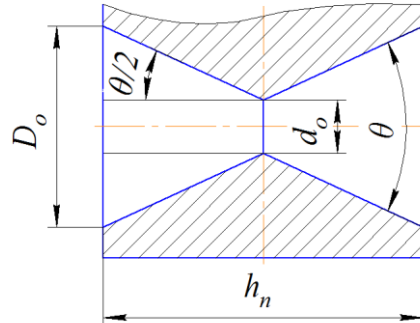


Рис. 5. Розрахункова схема для визначення параметрів конічних отворів поршня.

Для виконання умови міцності поршня необхідно використання умови

$$\frac{ND_o^2}{D^2} \leq 0,9. \quad (7)$$

Для отримання максимальних значень K_o останню умову запишемо у вигляді

$$\frac{ND_o^2}{D^2} = 0,9. \quad (8)$$

Таким чином, максимальне значення K_o дорівнює

$$K_o = \frac{0,9}{\left(6 \operatorname{tg} \frac{\theta}{2} + 1\right)^2} = 0,06. \quad (9)$$

Для забезпечення міцності поршня, враховуючи необхідність зменшення його щільності і використання для виготовлення поршня харчових пластмас, мінімальна товщина поршня складає 5–6 мм. При цьому діаметр отворів поршня становить 0,8–1,0 мм. При зменшенні d_o підвищується вірогідність облітерації внутрішнього діаметра отворів поршня, що знижує працездатність гомогенізатора. Для зменшення облітерації орієнтовно мінімальне значення d_o приймаємо рівним 2 мм. Тоді за формулою (3) товщина поршня $h_n=12$ мм. З формули (6) визначимо більший діаметр отворів

$$D_o = h_n \cdot \operatorname{tg} \frac{\theta}{2} + d_o, \quad (10)$$

При $d_o=2$ мм; $h_n=12$ мм і $\theta=49^\circ$, $D_o=7,5$ мм. З формули (8) визначимо кількість отворів поршня

$$N = \frac{0,9D^2}{D_o^2}. \quad (11)$$

При $D=60$ мм, $N=57$ шт.

Як показують розрахунки (формула (9)), значення коефіцієнта живого перетину поршня при використанні конічних звужуючих надто мале. При такому значенні K_o питомі енерговитрати [6, 7] підвищуються на істотні 20% у порівнянні з $K_o=0,9$ (при інших рівних умовах). Тому доцільно розглянути використання циліндричних отворів поршня, для яких

$$h_n = 3d_o. \quad (12)$$

Циліндричні отвори більш схильні до облітерації, тому орієнтовно їх мінімальний діаметр приймемо рівним 5 мм. Для розрахунку таких отворів скористаємося формулами (3) і (8), вважаючи $D_o = d_o$. При $D=60$ мм, $K_o=0,9$; $h_n=15$ мм, $N=130$ шт.

Результати отримані без урахування діаметра штока, тому реальні значення K_o і N будуть меншими.

Як бачимо з розрахунків, при використанні:

– конічних отворів поршня отримаємо значення: $K_o < 0,06$, $\mu = 0,95$ і $\varphi = 0,98$;

– циліндричних отворів поршня – $K_o < 0,9$, $\mu = \varphi = 0,82$.

Більше ніж на порядок менше значення коефіцієнта живого перетину поршня з конічними отворами призводить до аналогічного підвищення прискорення і, як наслідок, зменшення розмірів жирових кульок емульсії. Цьому сприяє і більш високе значення коефіцієнту швидкості конічних отворів. Але необхідна потужність опору поршня зросте і питомі енерговитрати гомогенізатора можуть зрости більш суттєво, ніж при використанні циліндричних отворів.

Висновки і перспективи подальших досліджень. Отримані формули (3–12) дають змогу визначити параметри отворів і поршня ПГ (товщину поршня, діаметр і кількість отворів, коефіцієнт живого перетину поршня) для визначення параметрів з достаньою дисперсністю емульсії і мінімальними енерговитратами гомогенізатора.

Шляхом аналізу можливих форм отворів поршня ПГ встановлені раціональні варіанти форми отворів поршня: у вигляді конусів з кутом 49° , обернених меншими основами назустріч одне одному або циліндричних отворів. Визначити оптимальний варіант необхідно шляхом проведення експериментальних досліджень.

Література:

1. Huppertz, T. Homogenization of Milk | Other Types of Homogenizer (High-Speed Mixing, Ultrasonics, Microfluidizers, Membrane Emulsification) [Text] / T. Huppertz // Encyclopedia of Dairy Sciences (Second Edition). 2011. – P. 761–764.

2. *Фиалкова, Е.А.* Гомогенизация. Новый взгляд: Монография–справочник/ Е.А. Фиалкова – Спб.: ГИОРД, 2006. – 392с.

3. *Орешина, М.Н.* Импульсное диспергирование многокомпонентных пищевых систем и его аппаратная реализация: автореф. дис... д-ра техн. наук: 05.18.12 / Н.М. Орешина. – М., 2010. – 50 с.

4. *Паляничка, Н.О.* Вдосконалення процесу імпульсної гомогенізації молока: автореф. канд... техн. наук: 05.18.12 / Н.О. Паляничка. – Мелітополь, 2013. – 20 с.

5. *Самойчук, К.О.* Аналітичні дослідження умов диспергування жирової фази молока в пульсаційному гомогенізаторі/ К.О. Самойчук, Л.В. Левченко// Вісник Дніпропетровського державного аграрно-економічного університету: Дніпропетровськ – 2016. – №1 (39). – С. 64–67.

6. *Дейниченко, Г.В.* Аналітичні дослідження енерговитрат пульсаційного гомогенізатора молока/ Г.В. Дейниченко, К.О. Самойчук, Л.В. Левченко// Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі. Наукові праці ХДУХТ: Харків – 2016. – Вип.1 (23) С. 170-181.

7. *Самойчук, К.О.* Ефективність гомогенізації молока в пульсаційному апараті з вібруючим ротором/ К.О. Самойчук, А.О. Івженко// Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка: Харків – 2015. – Вип. 166.– С. 98 – 104.

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОТВЕРСТИЙ ПОРШНЯ ПУЛЬСАЦИОННОГО ГОМОГЕНИЗАТОРА МОЛОКА

Самойчук К.О., Левченко Л.В., Цыб В.Г.

Аннотация - в статье приведены результаты аналитических исследований влияния диаметра и формы отверстий поршня пульсационного гомогенизатора на эффективность диспергирования молока.

GROUND OF PARAMETERS OF MILK PULSATION HOMOGENIZER PISTON OPENING

K. Samoichuk, L. Levchenko, V. Tsyb

Summary

The results of analytical researches of influence of diameter and form of pulsation homogenizer piston opening on the efficiency of milk dispersing are represented in the article.