

УДК 637.134.001.57

## ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ ЕФЕКТИВНОСТІ ІМПУЛЬСНОЇ ГОМОГЕНІЗАЦІЇ МОЛОКА

Паляничка Н.О., к.т.н.,

Петриченко С.В., к.т.н.,

Антонова Г.В., ст. викл.,

Левченко Л.В., інженер

*Таврійський державний агротехнологічний університет*

Тел. (0619) 42-13-06

**Анотація** – робота присвячена визначенню основних факторів та залежностей, що впливають на ефективність гомогенізації молока в імпульсному гомогенізаторі.

**Ключові слова** – амплітуда коливання, подача молока, ступінь гомогенізації, частота коливання, імпульсний гомогенізатор, фактори, градієнт швидкості.

*Постановка проблеми.* Гомогенізація є одною із найважливіх технологічних процесів в молочній промисловості [1]. Якість продуктів з використанням гомогенізованого молока набагато вища. Тому гомогенізація стала нормативним процесом у більшості сучасних технологічних схем виробництва питного стерилізованого та пастеризованого молока, кисломолочних продуктів, морозива, молочних консервів, виготовлення сиру тощо. У зв'язку з розвитком технологій до гомогенізованих компонентів, що застосовують, висуваються підвищені вимоги до дисперсності кінцевого продукту.

*Аналіз останніх досліджень.* Проведений аналіз наукових робіт щодо механізмів диспергування жирової фази молока показав, що єдиної визначеної теорії гомогенізації на сьогоднішній день не існує [2]. Це пояснюється тим, що жирові кульки мають мікроскопічний розмір, а також досить високу швидкість руху, що ускладнює спостереження цього процесу. Більшість авторів схильні до думки, що руйнування жирових кульок відбувається за рахунок виникнення градієнту швидкості потоку, тому подальше дослідження в цьому напрямку є досить актуальним.

*Постановка завдання.* Метою даної роботи є визначення основних факторів та залежностей, які впливають на ступінь гомогенізації в імпульсному гомогенізаторі.

*Основна частина.* На основі аналізу літературних джерел та проведення теоретичних досліджень було виявлено, що руйнування

жирових кульок в імпульсному гомогенізаторі відбувається за рахунок градієнта швидкості [1,3].

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 ступеня гомогенізації.

Оскільки цей параметр досить важко розрахувати, було вирішено розрахувати швидкість потоку молока під час імпульсної гомогенізації за допомогою комп'ютерного моделювання з застосуванням універсальної програмної системи кінцево-елементного аналізу Ansys Workbench [1,3,4]. Дана програма має модуль CFX, який дозволяє ефективно і надійно проводити розрахунки, зв'язані з динамікою рідин та газів.

В якості вихідних даних для розрахунку в програмі Ansys Workbench були внесені геометричні параметри імпульсного гомогенізатора та фізико-хімічні властивості молока.

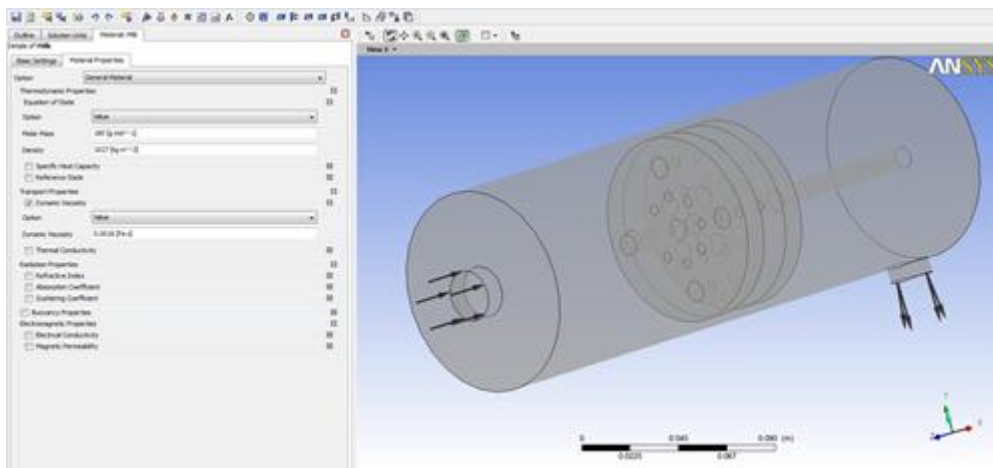


Рис. 1. Вікно вихідних даних в Ansys Workbench.

Діаметр робочої камери було обрано з умови забезпечення продуктивності гомогенізатора 1500...2000 кг/год рівною  $D = 0,3$  м; довжина робочої камери визначалася згідно діаметру камери:

$$L = 4 \frac{Q}{\pi \cdot D^2 \cdot f} = 4 \frac{1,8}{3,14 \cdot 0,3^2 \cdot 59} = 0,5 \text{ м};$$

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  $h = 2 \dots 12$  мм; частота коливань поршня-ударника  $f = 45 \dots 55$  Гц; густина молока  $\rho_m = 1029$  кг/м<sup>3</sup>; густина плазми  $\rho_n = 1035$  кг/м<sup>3</sup>; в'язкість молока  $\mu = 0,00179$  Па·с; поверхневий натяг на границі фаз повітря-плазма  $\sigma_n = 0,054$  Н/м; поверхневий натяг на границі фаз повітря-жир  $\sigma_{жк} = 0,024$  Н/м.

Молоко в робочій камері імпульсного гомогенізатора проходить крізь отвори в поршні-ударнику, а також крізь зазор між поршнем-ударником і циліндром. Як було визначено в даному розділі отвори в поршні-ударнику мають конічну форму з кутом  $45^\circ$  і чередуються діаметрами вхідних і вихідних отворів по колу. Отже швидкість потоку буде різною в залежності від того, з якого отвору прямого чи зворотно усіченого конусу буде виходити потік молока.

В результаті проведеного розрахунку були отримані лінії токів розподілу тиску та швидкостей по довжині робочої камери в залежності від зміни факторів, що впливають на імпульсну гомогенізацію (рис. 2).

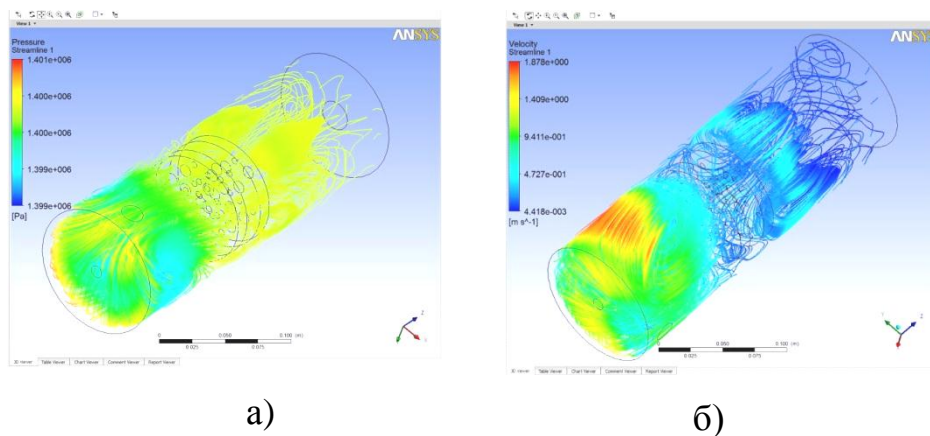


Рис. 2. Тривимірні графіки ліній розподілу виконані в Ansys Workbench: а) тиску; б) швидкостей по об'єму робочої камери.

Для того, щоб визначити, де буде утворюватися максимальний градієнт швидкості потоку молока, а, отже, і ступінь гомогенізації, розраховуємо градієнт швидкості на виході з першого поршня-ударника  $\frac{dv_1}{dx}$ , другого  $\frac{dv_2}{dx}$ , між поршнями  $\frac{dv_3}{dx}$  та за поршнями  $\frac{dv_4}{dx}$ .

Рівняння апроксимації відповідно матимуть вигляд:

$$\frac{dv_1}{dx} = 0,0025x^4 - 0,0648x^3 + 0,5859x^2 - 2,0208x + 2,2607 ; \quad (1)$$

$$\frac{dv_2}{dx} = 0,001x^4 - 0,0236x^3 + 0,245x^2 - 0,981x + 1,4537 ; \quad (2)$$

$$\frac{dv_3}{dx} = 0,003x^4 - 0,07x^3 + 0,5133x^2 - 1,2852x + 0,9575 ; \quad (3)$$

$$\frac{dv_4}{dx} = 0,0482x + 0,0631. \quad (4)$$

Залежності (1), (2), (3) та (4) представлені графічно на рис. 3.

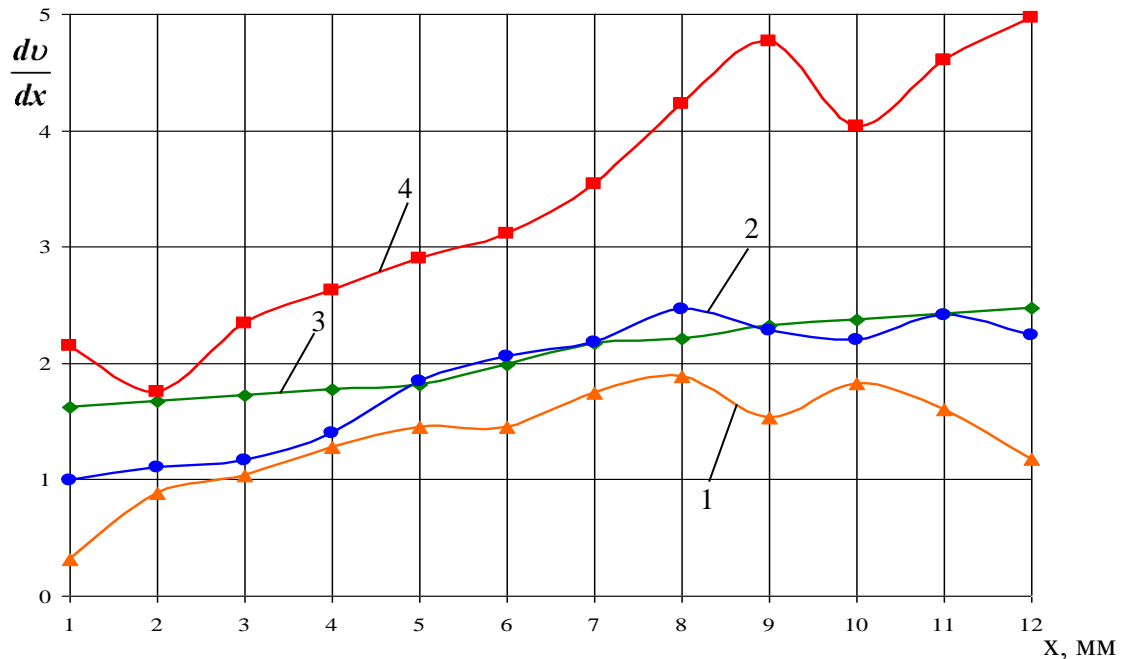


Рис. 3. Графік залежності градієнтів швидкості від довжини робочої камери імпульсного гомогенізатора: 1 – на виході з першого поршня-ударника; 2 – між поршнями; 3 – за поршнями; 4 – на виході з другого поршня-ударника.

Отже, як видно з графіка, найбільший градієнт швидкості (2,2...5 м/с) буде виникати на виході з кінцевих отворів другого поршня-ударника. Логічно припустити, що і ступінь гомогенізації в цьому випадку буде найвищою.

Ступінь гомогенізації визначаємо за формулою [5]

$$Nm = \frac{d_o}{d_k}, \quad (5)$$

де  $d_o$  – середній діаметр жирових кульок до гомогенізації, м;

$d_k$  – критичний діаметр жирових кульок після гомогенізації,

м.

Оскільки було визначено, що критичний критерій Вебера для рідини в потоці складає близько 14, то, так як умови практично однакові, припустимо, що в нашому випадку він також складає близько 14. Тоді критичний діаметр жирових кульок буде визначатися

$$d_k = \frac{We_{кр}^i \cdot \sigma_{жс-п}}{\left(\frac{dv}{dx}\right)^2 \cdot \rho_{пл}}. \quad (6)$$

Ступінь гомогенізації в імпульсному гомогенізаторі в загальному вигляді визначається залежністю

$$Hm = f(h, f, Q), \quad (7)$$

де  $h$  – амплітуда коливань поршня-ударника;

$f$  – частота коливань поршня-ударника;

$Q$  – подача молока в імпульсний гомогенізатор.

З урахуванням формул (5), (6) і за допомогою комп'ютерної програми Ansys Workbench були розраховані наступні залежності.

Залежність ступеня гомогенізації від амплітуди коливання графічно представлено на рис. 4.

Рівняння апроксимації залежності ступеня гомогенізації від амплітуди коливання поршня-ударника має наступний вигляд

$$Hm = -0,0435h^2 + 1,0653h - 1,63. \quad (8)$$

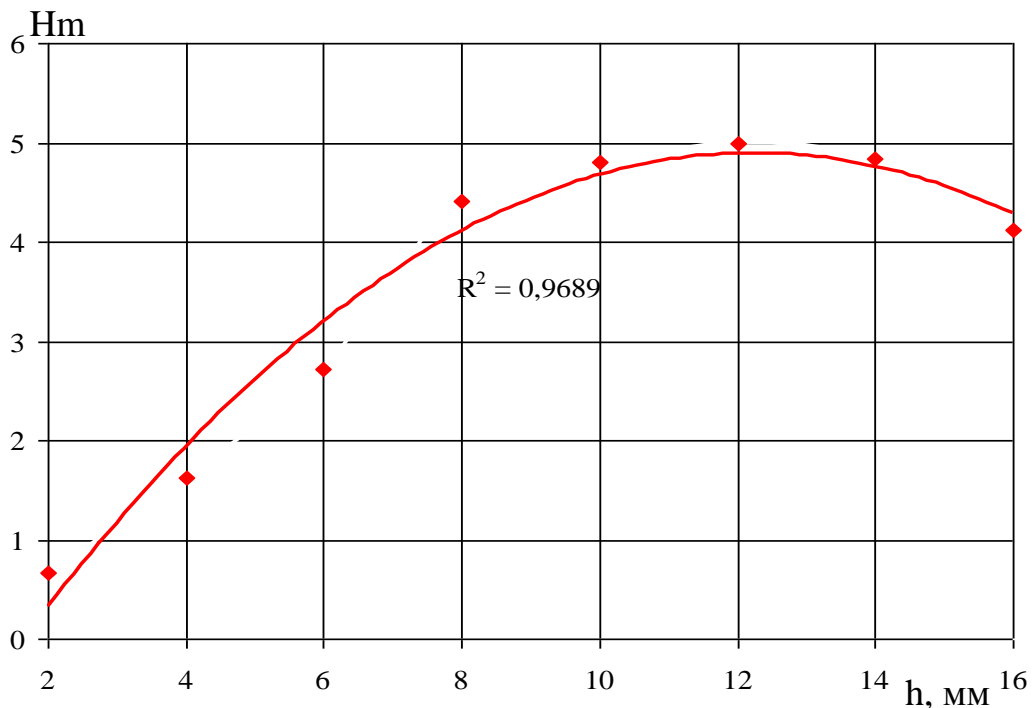


Рис. 4. Графік залежності ступеня гомогенізації від амплітуди коливання поршня-ударника імпульсного гомогенізатора.

Якість гомогенізації молока в імпульсному гомогенізаторі, як було раніше зазначено, головним чином визначається градієнтом швидкості потоку молока на виході з додаткового поршня-ударника. Роблячи висновок з графіку, можна сказати, що максимальний ступінь гомогенізації, а отже і градієнт швидкості потоку молока, досягається при значенні амплітуди коливань 10...14мм. При подальшому підвищенні амплітуди коливань характер руху додаткового поршня-ударника призводить до зниження ступеня гомогенізації.

Залежність ступеня гомогенізації від частоти коливання поршня-ударника в імпульсному гомогенізаторі графічно представлено на рис. 5.

Залежність ступеня гомогенізації від частоти коливання поршня-ударника апроксимується рівнянням

$$Hm = -0,0085 f^2 + 1,0869 f - 29,724. \quad (9)$$

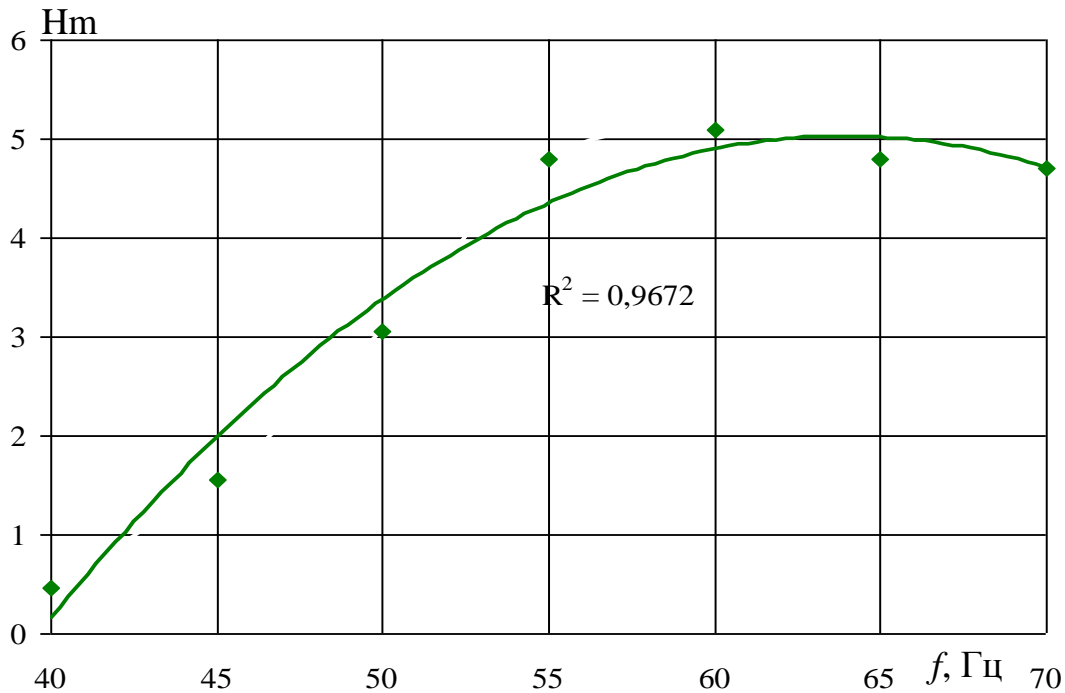


Рис. 5. Графік залежності ступеня гомогенізації від частоти коливання поршня-ударника.

Дана залежність показує, що найвищий ступінь гомогенізації досягається за частоти коливань поршня-ударника 55...65 Гц. Подальше підвищення частоти коливань, як і у випадку з амплітудою, призводить до зниження якості гомогенізації.

На рис. 6 представлена залежність ступеня гомогенізації від подачі молока.

Рівняння залежності має наступний вигляд

$$Hm = -10,012Q^2 + 38,363Q - 31,814. \quad (10)$$

Аналізуючи графік, можна зробити висновок, що найвищий ступінь гомогенізації буде досягатися при подачі молока 1,8...2,0 м<sup>3</sup>/год.

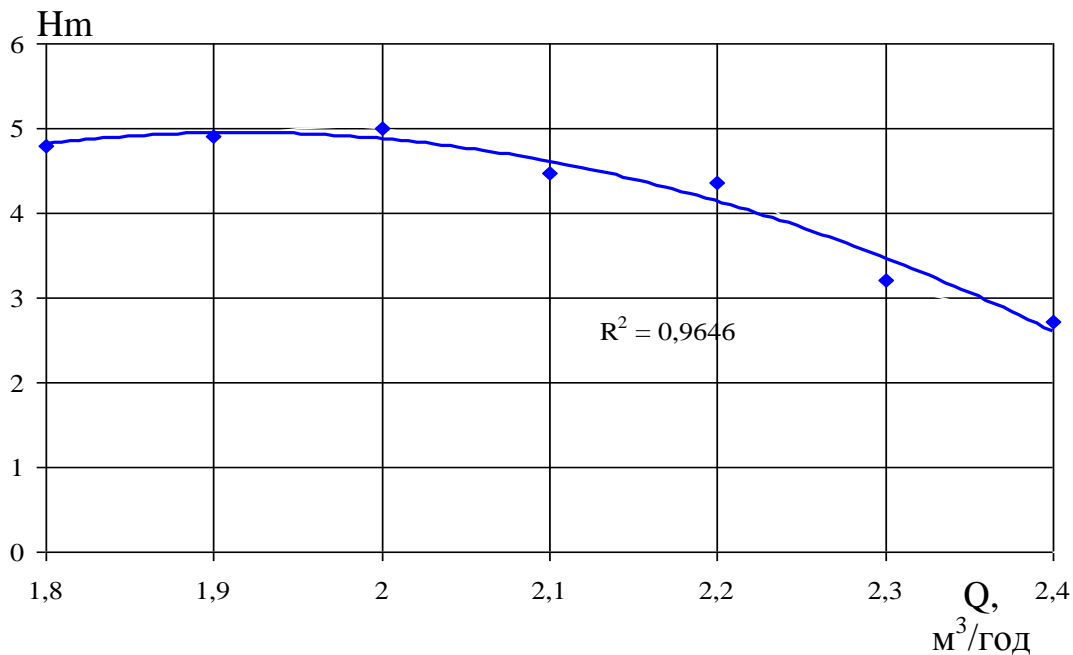


Рис. 6. Графік залежності ступеня гомогенізації від подачі молока в імпульсний гомогенізатор.

*Висновки.* Отже, внаслідок проведеного дослідження було встановлено, що основними факторами які впливають на ступінь гомогенізації в імпульсному гомогенізаторі є амплітуда коливання поршня-ударника, частота коливання та подача молока в імпульсний гомогенізатор. Приведений алгоритм розрахунку в універсальній програмній системі кінцево-елементного аналізу Ansys Workbench та рівняння залежностей ступеня гомогенізації від основних факторів можуть бути використані при інженерних розрахунках.

Література:

1. Паляничка Н.О. Вдосконалення процесу імпульсної гомогенізації молока: дис. канд. техн. наук: 05.18.12 / Н.О. Паляничка. – Донецьк, 2013. – 194 с.

2. Паляничка Н.О. Аналіз існуючих гіпотез руйнування жирових кульок / Н.О. Паляничка, О.В. Гвоздєв // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь: ТДАТУ. Вип.10, Т.3. – 2010. – С. 48 – 54.

3. Гвоздєв О.В. Комп'ютерне моделювання імпульсного гомогенізатора молока з використанням програмного забезпечення Ansys Workbench / О.В. Гвоздєв, К.О. Самойчук, Н.О. Паляничка // Обладнання та технології харчових виробництв: тематичний збірник наукових праць. – Донецьк: ДонНУЕТ. Вип. 28. – 2012. – С. 294 – 300.

4. Паляничка Н.О. Визначення градієнту швидкості потоку молока при імпульсній гомогенізації / Н.О. Паляничка // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь: ТДАТУ. Вип.12, Т.4. – 2012. – С. 56 – 62.

5. Паляничка Н.О. Визначення ступеня гомогенізації при імпульсній гомогенізації молока / Н.О. Паляничка // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь: ТДАТУ. Вип.13, Т.7. – 2013. – С. 102 – 107.

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИМПУЛЬСНОЙ ГОМОГЕНИЗАЦИИ МОЛОКА**

Паляничка Н.А., Петриченко С.В., Антонова Г.В.

*Аннотация* – работа посвящена определению основных факторов и зависимостей, которые влияют на эффективность гомогенизации молока в импульсном гомогенизаторе.

## **ETERMINATION OF BASIC DEPENDENCES OF EFFICIENCY OF IMPULSIVE HOMOGENIZATION OF MILK**

N. Palyanichka, S. Petrichenko, G. Antonova

### *Summary*

**Work is sanctified to determination of basic factors and dependences that influence on efficiency of homogenization of milk in impulsive homogenizer.**