

ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ПОДАЧІ МОЛОКА В ПУЛЬСАЦІЙНОМУ ГОМОГЕНІЗАТОРІ

Дейниченко Григорій Вікторович д.т.н., професор
Харківський державний університет харчування та торгівлі
Самойчук Кирило Олегович к.т.н, доцент
Паляничка Надія Олександрівна к.т.н., старший викладач
Левченко Любомир Васильович аспірант
Таврійський державний агротехнологічний університет
Deinychenko G.
Kharkiv State University of Food Technology and Trade
Samoichuk K.
Palyanichka N.
Levchenko L.
Tavria State Agrotechnological University

Анотація: обґрунтована схема та конструкція пульсаційного гомогенізатора молока, яка дозволяє отримати дисперсність молочної емульсії на рівні клапанних машин при знижених у 2–4 рази енерговитратах. Встановлені можливі механізми впливу подачі продукту на його дисперсність: за рахунок зміни часу індукції (руйнування) жирової кульки та зміни кратності обробки. Проведені аналітичні дослідження часу індукції під час пульсаційної гомогенізації молока, які свідчать про те, що цей параметр залежить лише від виду емульсії, що обробляється та характеристик поршня (товщини, діаметра і параметрів отворів у ньому). Отримано висновки, що умова руйнування за часом індукції виконується для будь-яких практично досяжних параметрах поршня пульсаційного гомогенізатора. Експериментальні дослідження впливу подачі емульсії показали, що зі зменшенням витрат молока через пульсаційний гомогенізатор (збільшенням кратності обробки) якість диспергування підвищується. Відмічена наявність зони різкої, стрибкоподібної зміни дисперсності в діапазоні подачі 800–1000 кг/год, що відповідає кратності обробки 6–10, що пов'язане з наявністю оптимального діапазону кратності обробки в пульсаційному гомогенізаторі молока.

Ключові слова: імпульсна гомогенізація, пульсаційний апарат, подача молока, дисперсність пульсаційної гомогенізації.

Постановка проблеми

В технологічних лініях переробки молока та виробництва молочної продукції однією з найбільш енерговитратних операцій є гомогенізація емульсій зі ступенем дисперсності менше 1 мкм [1, 2]. Про невирішеність проблеми зниження енергоємності гомогенізаторів свідчить те, що переважна більшість гомогенізаторів, встановлених в цехах переробки молока – клапанні та мають найвищу енергоємність серед існуючих [2, 3].

Перспективним методом інтенсифікації диспергування молочної емульсії є розробка та впровадження пульсаційної (імпульсної) гомогенізації. Основна перевага цього виду гомогенізації – дисипація енергії на межі розділу дисперсної та дисперсійної фаз, що перешкоджає створення застійних зон з низьким прискоренням потоків продукту, що обробляється [4]. В таких апаратах поєднується висока енергоефективність (менше 4 кДж/т) та дисперсні показники, що перевищують показники клапанних машин (середній розмір часток – до 0,5 мкм) [4; 5]. Однак теоретичні основи і механізм руйнування жирових кульок молока у імпульсному гомогенізаторі досліджені недостатньо. Це перешкоджає розробці високоєфективних гомогенізаторів такого типу та широкому впровадженню їх у виробництво.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Робочим органом пульсаційного гомогенізатора є поршень 1 (рис. 1) із наскрізними отворами 3, який здійснює коливальні рухи в камері вздовж її осі за рахунок кривошипного механізму [4, 5]. Молоко подається в патрубок 2 і під час проходження крізь отвори поршня 3, жирові кульки молока подрібнюються. Відводиться емульсія після гомогенізації через патрубок 5.

Експериментальні дослідження диспергування жирових емульсій в такому диспергаторі показали, що середній діаметр жирових кульок молока після обробки може становити 0,5 мкм та менше при енерговитратах в 2–3 рази менших, ніж в клапанних гомогенізаторах [4, 5]. Експериментально показаний зв'язок механізму руйнування жирових часток при імпульсній гомогенізації з критерієм Вебера – здуванням мікрочасток з поверхні жирової кульки.



Охарактеризований вплив часу індукції (впливу на жирову кульку), необхідного для її руйнування [4]. Однак математичні залежності впливу основних факторів пульсаційної гомогенізації (частоти та амплітуди коливання поршня, діаметра та кількості отворів поршня, діаметра робочої камери та подачі продукту крізь поршень) на дисперсність та енерговитрати так і не було отримано.

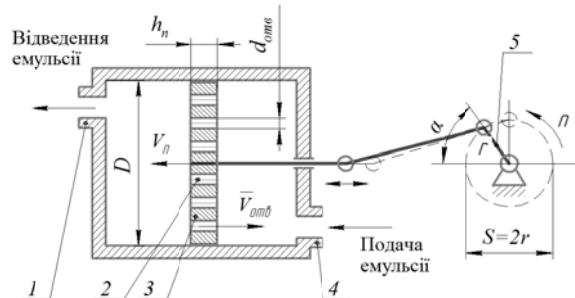


Рис. 1. Схема пульсаційного гомогенізатора: 1 – патрубок для відведення емульсії; 2 – отвори поршня; 3 – поршень; 4 – патрубок подачі емульсії; 5 – регульований кривошип, V_n – швидкість поршня; V_{oms} – швидкість емульсії в отворах поршня; d_{oms} – діаметр отворів; D – діаметр камери; r – радіус кривошипа; α – кут повороту кривошипа; h_n – товщина поршня; S – амплітуда коливання поршня

Ця робота є продовженням циклу публікацій, присвячених дослідженню пульсаційного гомогенізатора молока з одним поршнем. У попередніх публікаціях в результаті аналітичних досліджень знайдені залежності, що пов'язують дисперсність молочної емульсії з основними його конструктивно-кінематичними параметрами: діаметром і товщиною поршня, амплітудою та частотою його коливання, кількістю і діаметром отворів у поршні [6]. Визначено рівняння для розрахунку миттєвих складових потужності, яка споживається в процесі роботи пульсаційного гомогенізатора молока та визначена сумарна потужність його приводу. Отримані залежності пов'язують основні конструктивні й кінематичні параметри гомогенізатора: частоти та амплітуди руху поршня, діаметр поршня та отворів у ньому, розмірів та маси поршня [7].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми

Однією з невирішених питань пульсаційної гомогенізації є вплив подачі продукту на дисперсність молочної емульсії. Цей фактор впливає як на якісні, так і на енергетичні показники апарата. При збільшенні подачі зменшується кількість проходів молочної емульсії крізь отвори поршня – кратність обробки, що знижує ступінь гомогенізації молока [8]. Крім того при збільшенні подачі зменшується час впливу на жирову кульку – час індукції руйнування жирової кульки [9].

Під час проведених раніше аналітичних досліджень знайдена формула кратності проходження мікрооб'єму продукту через отвори поршня K [8]

$$K = \frac{\pi D^2 s n}{4Q}, \quad (1)$$

де D – діаметр поршня, м;

S , n – відповідно амплітуда та частота коливання поршня, м і s^{-1} ;

Q – подача емульсії крізь камеру гомогенізатора, m^3/s .

Висунуте припущення про характер залежності $Q = f(K)$ і наявність оптимального значення продуктивності для здійснення якісної гомогенізації в пульсаційному апараті.

Час повного руйнування частки емульсії τ_p визначається по формулі [9]

$$\tau_p = \frac{4,5d(1 + 1,2La^{-0,37})}{v_e}, \quad (2)$$

де v_e – швидкість емульсії, м/с.

Критерій Лапласа

$$La = \frac{\sigma \rho_2 d}{\eta^2}, \quad (3)$$

де η – динамічна в'язкість дисперсійної фази, Па·с;



ρ_2 – густина молочної плазми, кг/м³;

d – діаметр дисперсної частки, стабільної в цьому потоці, м;

Таким чином, базуючись на попередніх дослідженнях можливо розрахувати час індукції, необхідний для руйнування жирових кульок молока в пульсаційному гомогенізаторі, визначити вплив кратності обробки шляхом експериментальних досліджень подачі пульсаційного гомогенізатора.

Мета дослідження: дослідити вплив подачі продукту в пульсаційний гомогенізатор (кратності обробки та часу індукції) на ступінь дисперсності молочної емульсії.

Основні результати дослідження

Як було зазначено при зміні подачі молока у пульсаційний гомогенізатор змінюється кратність проходження жирової кульки крізь отвори поршня і час впливу, протягом якої вона руйнується (час індукції).

Швидкість емульсії в отворах пульсаційного гомогенізатора [6]

$$v_e^{cep} = \frac{\pi r n}{K_o}, \quad (4)$$

де – коефіцієнт живого перетину отворів поршня, $K_o \approx 0,3...0,7$.

Для руйнування дисперсної частки необхідно, щоб час дії на неї робочих органів диспергатора τ був більше за необхідний (розрахунковий)[9]

$$\tau > \tau_p. \quad (5)$$

Час впливу поршня на жирові кульки молока можна визначити як час проходження отворів поршня мікрооб'ємом емульсії (враховуючи, що швидкість руху поршня набагато вище швидкості руху продукту вздовж робочої камери апарата)

$$\text{---}. \quad (6)$$

де h – товщина поршня, м;

v_n^{cep} – середня швидкість руху поршня, м/с.

$$v_n^{cep} = \frac{1}{2} \pi n s. \quad (7)$$

Тобто

$$\text{---}. \quad (8)$$

Таким чином умова руйнування за часом індукції (5) для пульсаційного гомогенізатора, після необхідних перетворень, має вигляд

$$\frac{h}{K_o} > 4,5d(1+1,2La^{-0,37}), \quad (9)$$

Або для жирової кульки з розмірами 0,8 мкм:

$$\frac{h}{K_o} > 6,7 \cdot 10^{-6}, \quad (10)$$

Таким чином для пульсаційного гомогенізатора умова руйнування жирової кульки за часом індукції не залежить від частоти та амплітуди коливання та подачі продукту. Ця умова виконується для будь-яких практично досяжних мінімальних товщинах поршня.

Для проведення експериментальних досліджень використовувалося молоко згідно ГОСТ 3622-68. Частоту коливання поршня-ударника приймали у межах 2000–3000 хв⁻¹. Регулювання здійснювали за допомогою електродвигуна постійного струму та лабораторного трансформатора. Подача молока змінювалася у межах 250...1250 кг/год. Регулювання здійснювали ступенем відкриття перепускного крану. Температура гомогенізації молока згідно технологічних вимог складає 50...65°C.

Для проведення експериментальних досліджень, був сконструйований пристрій для пульсаційної гомогенізації (рис. 2). Пристрій складається з робочої камери імпульсного гомогенізатора 4 з поршня 5, який приводяться в коливальні рухи через шток 9 приводом 8. Для можливості регулювання частоти коливання поршня використовується електродвигун постійного струму. Для зміни амплітуди коливання поршня використовується регульований кривошип. В нижній



частині камери розташований вентиль для відводу молока після гомогенізації в ємність 1. 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.

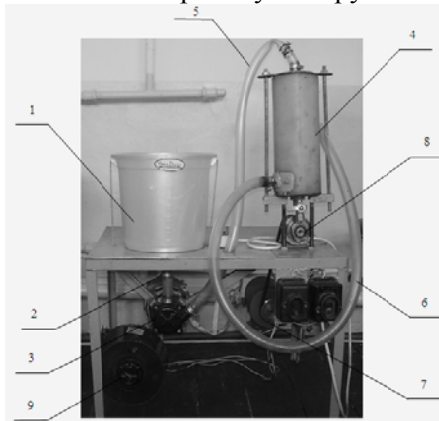


Рис. 2. Загальний вид пристрою для пульсаційної гомогенізації молока: 1 – технологічна ємність; 2 – перепускний вентиль; 3 – насос; 4 – робоча камера гомогенізатора; 5, 6 – труби для підведення вихідного і відведення гомогенізованого молока; 7 – електродвигун постійного струму; 8 – імпульсний привід; 9 – лабораторний трансформатор

Для створення коливальних рухів штока та поршня в робочій камері гомогенізатора використовували імпульсний привід, який представляє собою регульований кривошипний механізм (рис. 3), що з'єднаний клинопасовою передачею з електродвигуном постійного струму.

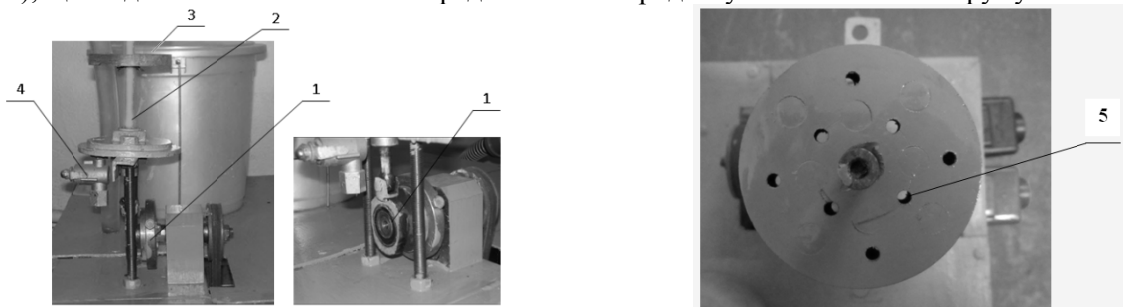


Рис. 3. Конструкція робочого органу та приводу гомогенізатора: 1 – кривошипний механізм; 2 – шток; 3 – поршень; 4 – випускний вентиль; 5 – циліндричні отвори в поршні

Оцінку дисперсності проводили при використанні методу вимірювання під мікроскопом разом з мікрофотографуванням і комп'ютерним аналізом отриманих даних. Для отримання мікрофотографій використовували оптичний мікроскоп Micromed XS – 2610 до якого була пристосована веб-камера, яка в свою чергу під'єднана до персонального комп'ютера (рис. 4) [70].



Рис. 4. Загальний вид мікроскопа з під'єднаною до комп'ютера веб-камерою: 1 – комп'ютер, 2 – цифрова камера, 3 – оптичний мікроскоп, 4 – дослідний зразок емульсії

Результати експериментальних досліджень впливу витрат (продуктивності) пульсаційного гомогенізатора на якість диспергування молочного жиру представлена на рис. 5.



2017

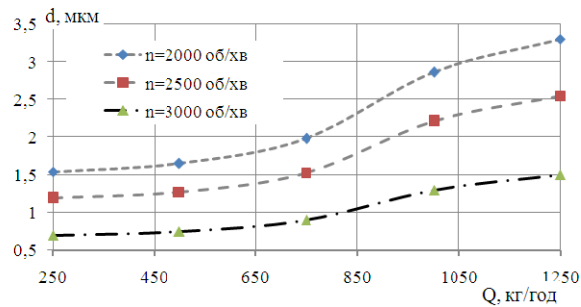


Рис. 5. Залежність продуктивності Q та частоти обертання кривошипу (частоти вібрації) n від розмірів жирових кульок молока d

Зі зменшенням витрат молока через пульсаційний гомогенізатор якість диспергування очікувано підвищується. Це відбувається внаслідок збільшення кратності проходження жирової кульки крізь отвори поршня. При зменшенні продуктивності з 1250 до 250 кг/год розміри жирових кульок зменшуються від 3,3 до 1,5 мкм (при частоті коливання 2000 хв^{-1}), до 1,5–0,7 мкм при частоті коливання поршня 3000 хв^{-1} .

На графіках спостерігається помітний стрибкоподібний характер зміни дисперсності у діапазоні продуктивності 800–1000 кг/год, що відповідає значенням кратності обробки 6–10. З огляду на висунуте під час теоретичних досліджень припущенням, це пов'язане з наявністю оптимального для гомогенізації значення продуктивності (менше 800 кг/год). Руйнування жирових кульок при продуктивності більше 800–1000 кг/год (кратність обробки 6–10) відбувається повільніше і узгоджується з експериментальними даними, отриманими для клапанної гомогенізації.

Висновки

В результаті аналітичного визначення часу індукції руйнування жирових кульок молока в пульсаційному гомогенізаторі визначено, що цей параметр залежить лише від виду емульсії, що обробляється та характеристик поршня (товщини, діаметра і параметрів отворів у ньому). Умова руйнування за часом індукції виконується для будь-яких практично досяжних параметрах поршня пульсаційного гомогенізатора.

Експериментальні дослідження впливу подачі емульсії показали, що зі зменшенням витрат молока через пульсаційний гомогенізатор (збільшенням кратності обробки) якість диспергування підвищується. При зменшенні продуктивності з 1250 до 250 кг/год та підвищенні частоти коливання поршня з 2000 до 3000 хв^{-1} (що відповідає діапазону кратності обробки 6–30) розміри жирових кульок зменшуються від 3,3 до 0,7 мкм. Відмічена наявність зони різкої, стрибкоподібної зміни дисперсності в діапазоні подачі 800–1000 кг/год, що відповідає кратності обробки 6–10, що пов'язане з наявністю оптимального діапазону кратності обробки в пульсаційному гомогенізаторі молока.

Список літератури

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. Нужин Е.В. Гомогенизация и гомогенизаторы /Е.В. Нужин, А.К. Гладушняк. Монография – Одесса: Печатныйдом, 2007. – 264 с.
4. 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.
5. Паляничка Н.О. Вдосконалення процесу імпульсної гомогенізації молока: автореф. канд... техн. наук: 05.18.12 / Н.О. Паляничка. – Мелітополь, 2013. – 20 с.
6. 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.
7. 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.
8. 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.

9. Самойчук К.О. *Методика расчёта степени дисперсности эмульсий* / К.О. Самойчук MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture – 2016. Vol.18. No.2. P. 97–102.

References

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. Fialkova Ye.A. *Gomogenizatsiya. Novyy vzglyad: Monografiya-spravochnik* / Ye.A. Fialkova - SPb.: GIORD, 2006. - 392s.
3. Nuzhin Ye.V. *Gomogenizatsiya i gomogenizatory* /Ye.V. Nuzhin, A.K. Gladushnyak. Monografiya - Odessa: Pechatnydom, 2007. - 264 s.
4. Oreshina M.N. *Impul'snoye dispergirovaniye mnogokomponentnykh pishchevykh sistem i yego apparatnaya realizatsiya: avtoref. dis ... d-ra tekhn. nauk: 05.18.12 / N. M. Oreshina. - M., 2010. - 50 s.*
5. Palyanychka N.O. *Vdoskonalennya protsessa impulsnoyi homohenzatsiyi moloka: avtoref. kand ... tekhn. nauk: 05.18.12 / N.O. Palyanychka. - Melitopol, 2013. - 20 s.*
6. Samoychuk K.O. *Analitichni doslidzhennya umov dysperhuvannya zhyrovoyi fazy moloka v pulsatsiynomu homohenzatori* / K.O. Samoychuk, L.V. Levchenko // *Visnyk Dnipropetrovskoho derzhavnoho ahrarno-ekonomichnoho universytetu: Dnipropetrovsk - 2016. - №1 (39). - S. 64-67.*
7. Deynychenko H.V. *Analitichni doslidzhennya enerhovitrat pulsatsiynoho homohenzatora moloka* / H.V. Deynychenko, K.O. Samoychuk, L.V. Levchenko // *prohresyvni tekhnika ta tekhnolohiyi kharchovykh vyrobnystv restorannoho hospodarstva y torhivli. Naukovi pratsi KHDUKHT: Kharkiv - 2016. - Vyp.1 (23) S. 170-181.*
8. Samoychuk K.O. *Efektynnist homohenzatsiyi moloka v pulsatsiynomu aparati z vibruyuchim rotorom* / K.O. Samoychuk, A.O. Ivzhenko // *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu silskoho hospodarstva imeni Petra Vasylenka: Kharkiv - 2015. - Vyp. 166.- S. 98 - 104.*
9. Samoychuk K.A. *Metodika raschota stepeni dispersnosti emul'siy* / K.A. Samoychuk MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture - 2016. Vol.18. No.2. P. 97-102.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОДАЧИ МОЛОКА В ПУЛЬСАЦИОННОМ ГОМОГЕНИЗАТОРЕ

Аннотация: обоснована схема и конструкция пульсационного гомогенизатора молока, которая позволяет получить дисперсность молочной эмульсии на уровне клапанных машин при сниженных в 2-4 раза энергозатратах. Установлены возможные механизмы влияния подачи продукта на его дисперсность: за счет изменения времени индукции (разрушение) жирового шарика и изменения кратности обработки. Проведены аналитические исследования времени индукции во время пульсационной гомогенизации молока, которые свидетельствуют о том, что этот параметр зависит лишь от вида эмульсии, которая обрабатывается и характеристик поршня (толщины, диаметра и параметров отверстий в нем). Получены выводы, что условие разрушения по времени индукции выполняется для любых практически достигаемых параметрах поршня пульсационного гомогенизатора. Экспериментальные исследования влияния подачи эмульсии показали, что с уменьшением расходов молока через пульсационный гомогенизатор (увеличением кратности обработки) качество диспергирования повышается. Отмечено наличие зоны резкого, скачкообразного изменения дисперсности в диапазоне подачи 800–1000 кг/год, что отвечает кратности обработки 6–10, что связано с наличием оптимального диапазона кратности обработки в пульсационном гомогенизаторе молока.

Ключевые слова: импульсная гомогенизация, пульсационный аппарат, подача молока, дисперсность пульсационной гомогенизации.

DETERMINATION OF INFLUENCE OF MILK FEEDING IN PULSATION HOMOGENIZER

Summary: the scheme and design of the pulsation milk homogenizer have been grounded, which allows achieving milk emulsion dispersion at the level of valve machines with 2-4 times decrease in power consumption. The possible mechanisms of influence of the product feeding on its dispersion have been defined: due to the change of time of induction (destruction) of the fat globule and change of repetition factor of treatment. Analytical researches of time of induction have been conducted during pulsation homogenization of milk, which testify that this parameter depends only on the emulsion type which is being processed and piston descriptions (thickness, diameter and parameters of the openings in it). Conclusions have been drawn that the condition of destruction at times of induction is satisfied for any practically accessible parameters of the piston of the pulsation homogenizer. Experimental researches of influence of the emulsion feeding showed that with milk charges diminishing through the pulsation homogenizer (by the increase of repetition factor of treatment) quality of dispersing improves. Noted presence of area of rapid, spasmodical change of dispersion in the range of feeding 800-1000 kg/h that corresponds to the repetition factor of treatment 6-10. It is caused with the presence of optimal range of repetition factor of treatment in the pulsation milk homogenizer.

Keywords: impulsive homogenization, pulsation machine, feeding of milk, dispersion of pulsation homogenization.