

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО**  
**Механіко-технологічний факультет**



Кафедра ОПХВ ім. проф. Ф.Ю. Ялпачика

**МАШИНИ І ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ГОМОГЕНІЗАЦІЇ МОЛОКА**

методичні вказівки до лабораторної роботи з дисципліни  
" Інноваційні технології та обладнання галузі "  
для студентів денної та заочної форми навчання  
спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»  
здобувачів ступеня вищої освіти «Магістр»

Мелітополь, 2020

**Машини і обладнання для гомогенізації молока.** Методичні вказівки для студентів, які навчаються за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування», здобувачів ступеня вищої освіти «Магістр» – Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного, 2020 - 24 с

Розробники: к.т.н., доцент Паляничка Н.О.,  
к.т.н., доцент Верхоланцева В.О.

Рецензент: доктор технічних наук, професор кафедри МЕЗ Волошина А.А.

Розглянуто та рекомендовано до друку на засіданні кафедри ОПХВ ім. проф.  
Ф.Ю. Ялпачика  
Протокол № від 2020 р.

Методичні вказівки затверджені методичною радою факультету МТ  
Протокол № від 2020 р.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА

### МАШИНИ І ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ГОМОГЕНІЗАЦІЇ МОЛОКА

**Мета роботи:** отримання, розширення і поглиблення знань по призначенню, принципам дії, будові, роботі та регулюванню обладнання для гомогенізації молока

Час виконання роботи 4 години.

#### 1 Порядок виконання роботи

- розглянути принцип дії та будову натурних зразків і лабораторних установок, що представляють обладнання для реалізації різних методів гомогенізації молока та молочних виробів;

- провести налагодження, регулювання і підготовку до роботи окремих видів і конструкцій гомогенізуючого обладнання;

- виконати експериментальні дослідження процесу гомогенізації, використовуючи натурні зразки обладнання і лабораторні установки;

- зробити аналіз результатів експерименту, сформулювати висновки за результатами роботи;

- оформити звіт з роботи і захистити його у викладача.

#### 2 Завдання для самопідготовки

У процесі підготовки до заняття студент повинен:

**- вивчити і повторити:**

1) класифікацію машин для гомогенізації;

2) призначення, принцип дії і будову клапанних, ультразвукових, вакуумних, відцентрових гомогенізаторів.

**- знати:** механізм гомогенізації молока та виробів з нього;

**- вміти:** проводити налаштування натурних зразків обладнання, лабораторних установок, користуватися контрольно-вимірювальними приладами, проводити визначення основних аналітичних залежностей за темою дослідження, проводити аналіз результатів експерименту.

#### 3 Теоретична частина

У сучасних технологічних процесах виробництва молочної продукції одним із нормативних процесів є гомогенізація. Цей процес полягає у подрібненні жирових кульок молока або молочного продукту (дисперсна фаза) та одночасному рівномірному розподіленні їх у плазмі молочного продукту (дисперсійна фаза).

Гомогенізацію використовують як для обробки сировини для молочної промисловості (незбираного або знежиреного молока та вершків), яку планується направити на подальші операції технологічного процесу, так і для обробки кінцевого молочного продукту.

Мета гомогенізації – механічна стабілізація дисперсної фази для перешкоджання процесам розділення фаз, тобто, утворення відстою вершків на поверхні продукту. Це явище для молочної промисловості вкрай небажане, а в деяких її галузях – навіть неприпустиме.

При розшаруванні продукту зростає швидкість його скисання, погіршуються (або ж припиняються) тривалі процеси дозрівання та ферментації при виробництві кисломолочної продукції, зменшуються терміни зберігання отриманого продукту, що особливо важливо при зберіганні молочних консервів.

Згідно з рівнянням Стокса, під час розділення діаметр часточки молочного жиру найбільш впливає на швидкість розділення, яка пропорційна квадрату діаметра часточки. Отже, після гомогенізації, що зменшує діаметр жирової кульки, час появи відстою збільшується. До гомогенізації середній розмір жирової кульки молока, за оцінками різних авторів, становить 2,5...4,0 мкм, після неї – менше за 1 мкм.

Крім зменшення розшарування продукту використання гомогенізації має такі переваги:

1) зменшуються у 8...10 разів відходи жиру у сироватку при виробництві сиру, що дає змогу значно зменшити витрати цінного компонента молока – молочного жиру;

2) гомогенізовані молочні та вершкові суміші для морозива легше збиваються та дають готовий продукт з кращим смаком та ніжнішою консистенцією;

3) збільшення поверхні жирової фази полегшує засвоєння молочного жиру організмом людини;

4) смакові та сенсорні властивості виробленого продукту в певній мірі поліпшуються завдяки одночасному збільшенню в'язкості та поліпшенню консистенції.

У сучасній молочної промисловості існує досить великий спектр машин для гомогенізації. Гомогенізатори поділяють за трьома ознаками: за продуктивністю, за принципом дії та за робочим тиском.

Принцип дії – це головний чинник при підборі гомогенізатора для певної технологічної лінії. Саме від нього залежить ефективність гомогенізації, питомі витрати енергії та вартість машини.

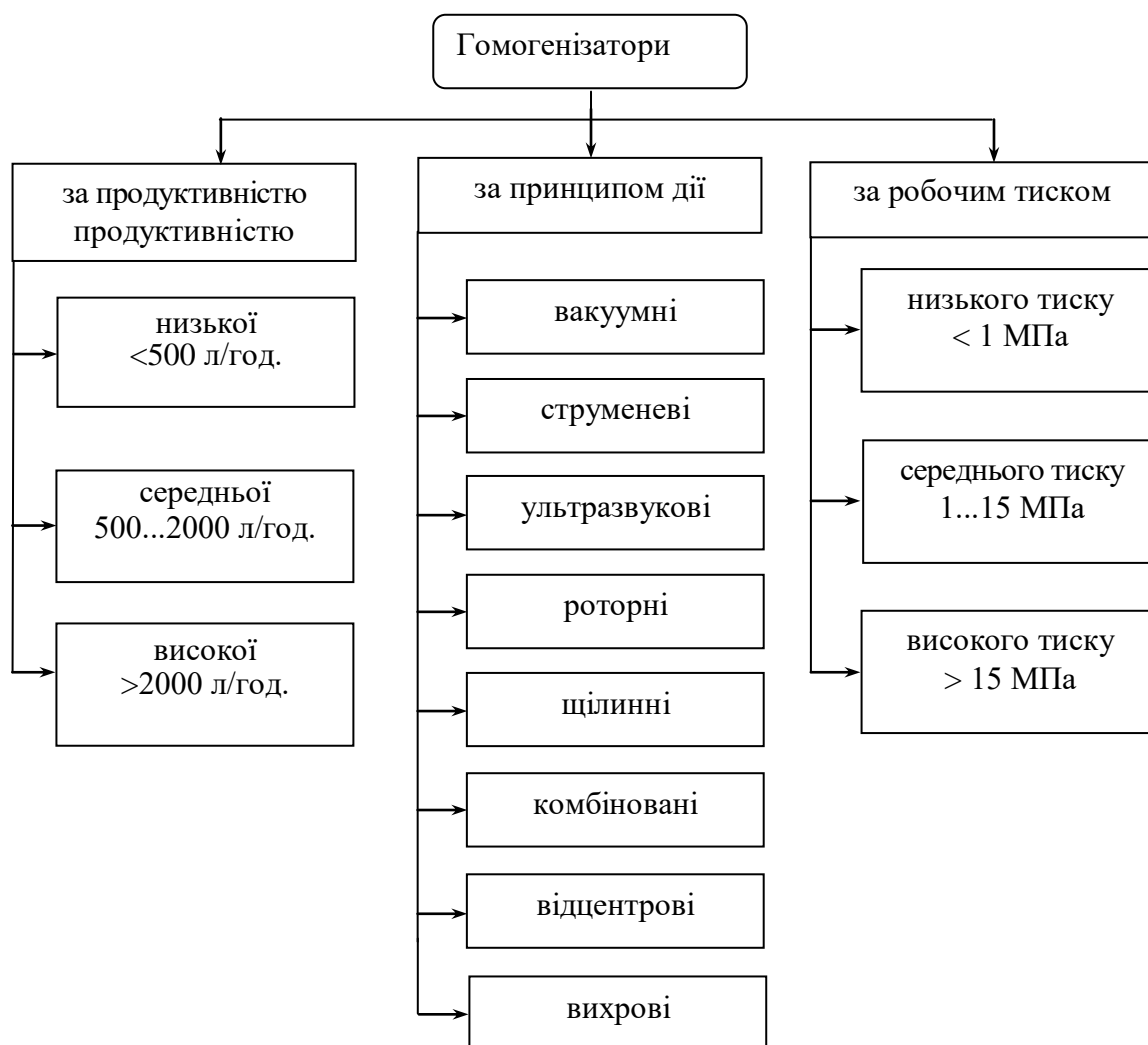


Рисунок 1 – Загальна класифікація гомогенізаторів

Не менш важливими для гомогенізатора є такі параметри як продуктивність та робочий тиск. Про їх важливість свідчить той факт, що за цими параметрами обирається тип насосу – істотного вузла, від якого, головним чином, буде залежати механічний коефіцієнт корисної дії машини. Крім того, деякі види гомогенізаторів можуть бути тільки високого або тільки низького тиску. Наприклад, ультразвукові, роторні та вакуумні працюють лише при низькому тиску, а такі, як клапанні, існують як високого так і середнього тиску.

Найбільш розповсюдженими на виробництві залишаються *клапанні (щілинні) гомогенізатори* (рисунок 2).

У таких гомогенізаторах необхідний тиск (15...25 МПа) створюється багатосекційним плунжерним насосом з приводом від електродвигуна потужністю 10...40 кВт.

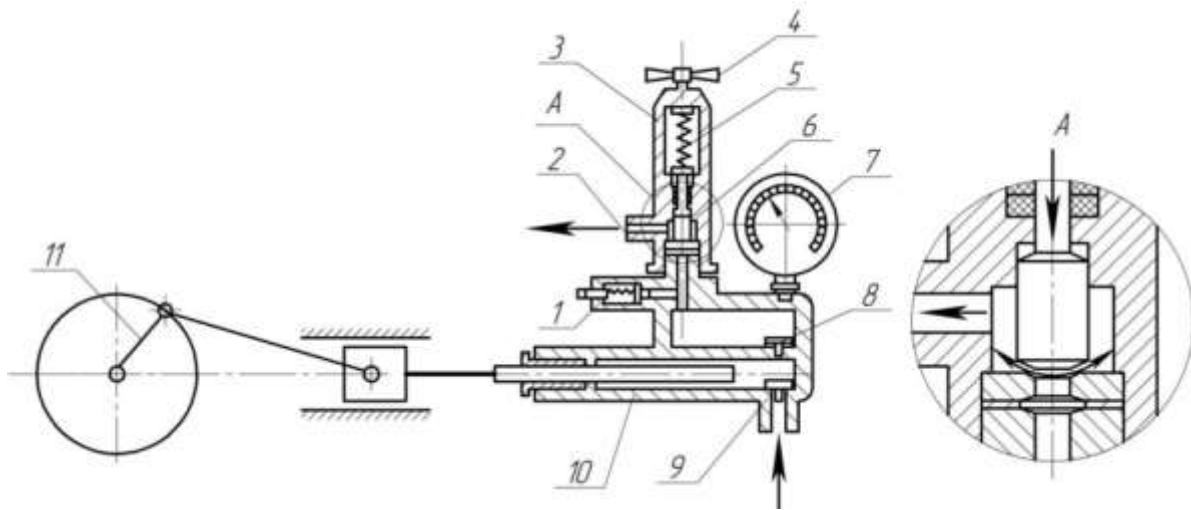


Рисунок 2 – Схема гомогенізатора клапанного типу

1 - запобіжний клапан; 2 - вихідний патрубок; 3 - корпус; 4 - гвинт; 5 - пружина; 6 - клапан гомогенізуючої головки; 7 - манометр; 8 - нагнітальний клапан; 9 - всмоктувальний клапан; 10 - плунжер; 11 - привод

Молоко через всмоктувальний клапан 9 подається у плунжерний насос, який приводиться в дію кривошипно-повзунним приводом 11.

При нагнітальному русі плунжера 10 відкривається нагнітальний клапан 8 і молоко під тиском потрапляє у вузький кільцевий зазор, що утворюється між сідлом та клапаном 6 при підніманні клапана, долаючи силу стиснення пружини 5. Ця сила і, як наслідок, розмір кільцевого зазору регулюється гвинтом 4. Тиск контролюється за манометром 7.

Ширина кільцевого зазору дорівнює приблизно 0,1 мм. Швидкість проходження молока крізь нього 150...200 м/с. Продуктивність цих машин 800...2000 кг/год.

За гіпотезою Барановського, гомогенізація відбувається у каналі між сідлом і клапаном. У гомогенізуючій щілині спостерігаються значні градієнти швидкості, тому що швидкість течії продукту велика, а товщина щілини складає частки міліметра. За Барановським швидкість жирової кульки при гомогенізації змінюється від досить малої початкової швидкості  $v_0$  (кілька метрів за секунду) у каналі сідла діаметром  $d$  до досить великої  $v_m$  (кілька сотень метрів за секунду) у клапанній щілині висотою  $h$  (рисунок 3).

Жирова кулька спрямовується спочатку по каналу сідла із середньою швидкістю  $v_0$ , змінює напрям і рухається до граничного перетину зі швидкістю  $v_0$ , яка значно менша за швидкість  $v_m$ . При переході від малих швидкостей до високих у жировій кульці відбуваються внутрішні деформації, її передня частина включається у потік у гомогенізуючій щілині з великою

швидкістю  $v_m$ , витягається у нитку і роздрібнюється у виді дрібних крапельок у результаті дії сил поверхневого натягу.

Швидкому витягуванню жирової краплі і відриванню від неї дрібних часток сприяє гідродинамічний тиск на кульку  $p_0$ , який з боків і за краплею значно більший за тиск  $p_1$  у зоні високих швидкостей. Таким чином, ефективність гомогенізації залежить, насамперед, від швидкості потоку при вході рідини в клапанну щілину, а, отже, і від тиску гомогенізації, величина якого завжди визначає швидкість.

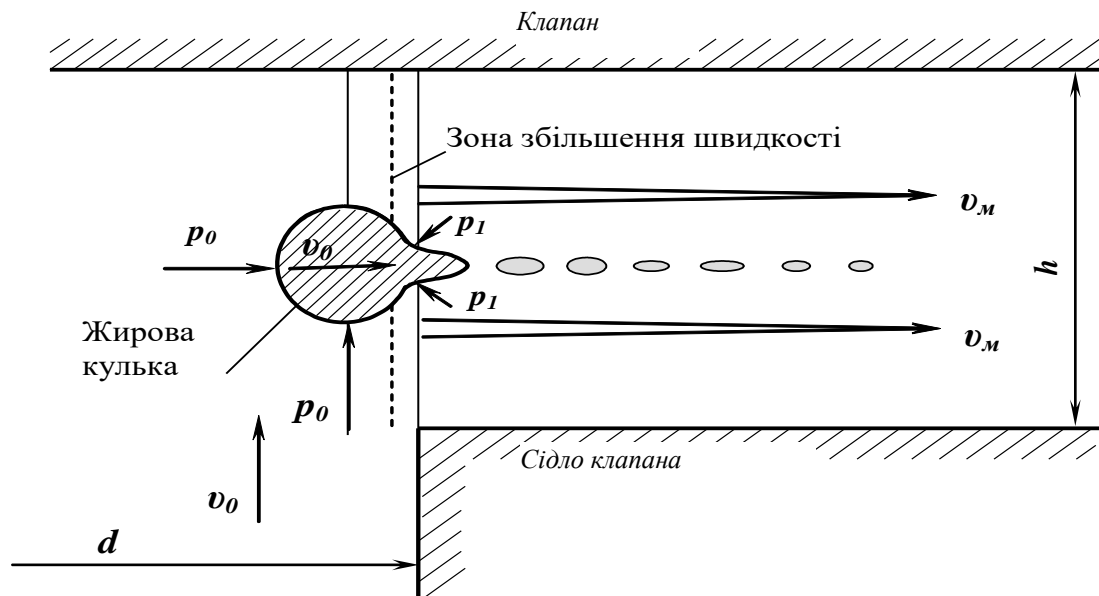


Рисунок 3 – Схема гомогенізації за гіпотезою Барановського

Широке застосування на молокопереробних підприємствах одержали клапанні гомогенізатори марок А1-ОГМ-1,25, А1-ОГМ-2,5 (рисунок 4), А1-ОГМ

Конструкції гомогенізаторів, як правило, мають непарне число плунжерів, оскільки ступінь нерівномірності подачі для них значно нижчий, ніж для машин з парним числом плунжерів.

Для одноплунжерних машин ступінь нерівномірності подачі дорівнює **3,14**, триплунжерних – **1,05** і п'ятиплунжерних – **1,02**.

Найбільш розповсюдженим типом колінчастого вала є вал з трьома кривошипними шийками під кутом  $120^\circ$  відносно одна одної.

У машин великої продуктивності шийки розташовані через  $72^\circ$ . корінні головки шатунів роз'ємні з вкладишами, в малі головки запресовані втулки. Матеріал вкладишів і втулок, як правило, бронза.

За типом гомогенізуючої головки гомогенізатори поділяють на одно-, двох-і багатоступінчасті.

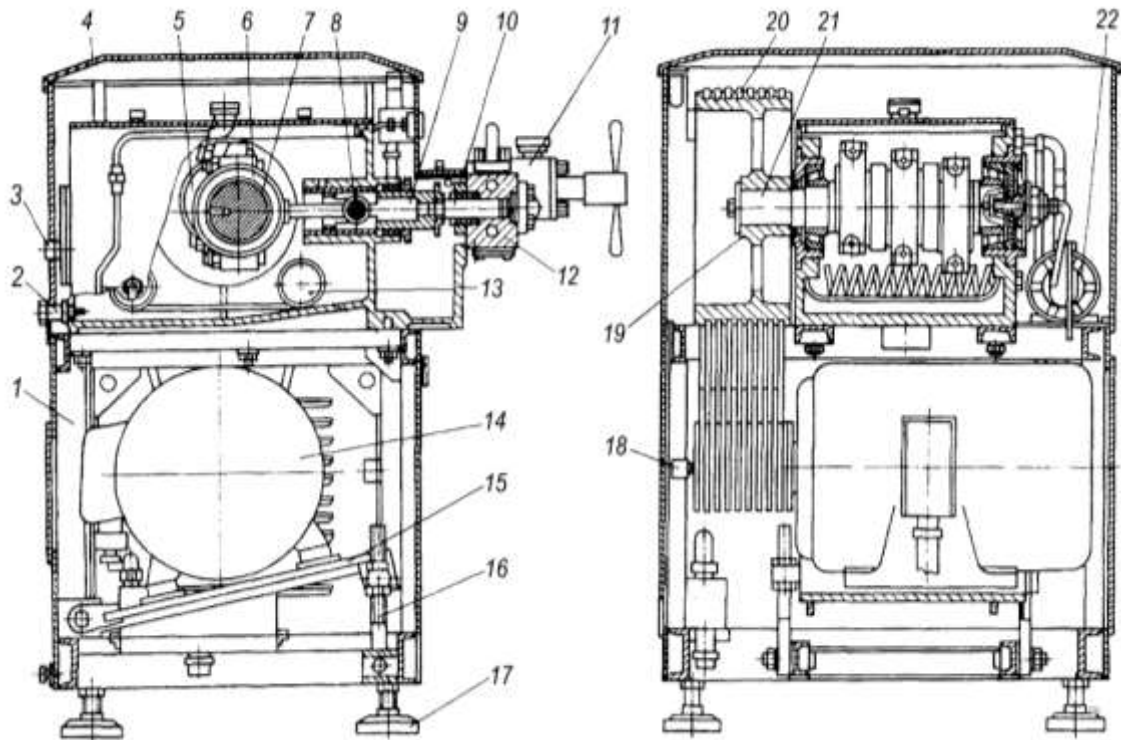


Рисунок 4 – Будова клапанного гомогенізатора А1-ОГМ-2,5:

1 - станина; 2 - зливна пробка; 3 - кришка; 4 - кривошипно-шатунний механізм; 6 - шатун; 7 - вкладиш; 8 - палець; 9 - повзун; 10 - плунжер; 11 - гомогенізуюча головка; 12 - плунжерний блок; 13 - змійовик; 14 - електродвигун; 15 - плита; 16 - натяжний пристрій; 17 - опора; 18, 19 - ведучий і ведений шківи; 20 - клиновий пас; 21 - колінчастий вал; 22 - масляний насос.

На практиці застосовують тільки одно- та двохступінчасті, так як багатоступінчасті не виправдовують себе, оскільки призводять до громіздкості конструкції, незручностей в експлуатації при незначному поліпшенню ефекту гомогенізації у порівнянні з двохступінчастими.

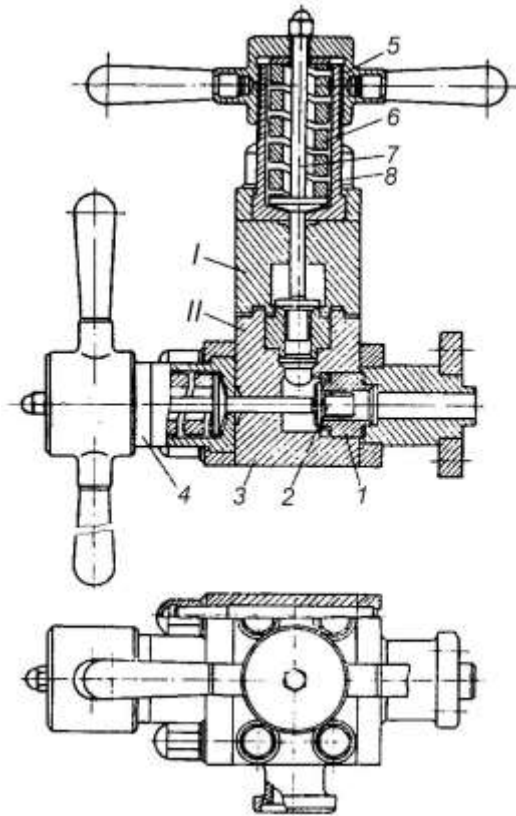
На рисунку 5 показана двохступінчаста головка, яка складається з корпусу 3 і клапанного пристрою, основними частинами якого є сідло клапана 1 і клапан 2.

Клапан пов'язаний з штоком, на виступ якого тисне пружина 6. Сила стиснення пружини регулюється переміщенням накидної гайки 5, яка разом з пружиною, штоком 7 і стаканом 8 утворює натискний пристрій 4.

Рідина, яка нагнітається насосом під тарілку клапана, тисне на тарілку і відсуває клапан від сідла, долаючи опір пружини.

Через щілину, що утворюється між клапаном і його сідлом висотою від 0,05 до 2,5 мм, рідина проходить з великою швидкістю і при цьому гомогенізується. На наступній ступіні процес повторюється.





Гомогенізатори клапанного типу виробляють на багатьох підприємствах. За кордоном найбільш відомі з них Rannie (Данія), Alfa-Laval (Швеція), Manton - Gaulin, „Cherry-Burrell“ (США), „Bran & Luebbe“ (Німеччина), „APV“ (Великобританія)

В Україні Одеським механічним заводом „ОДМЕЗ“ випускають гомогенізатори марок К5-ОГ2А-250, К5-ОГ2А-500, К5-ОГ2А-1,25, А1-ОГ2М-2,5, А1-ОГ2М та К5-ОГА-10 (див. таблицю 1).

Крім того, випускаються гомогенізатори серій П8-ГМ, ОГЗМ, ОГВ, МИ-ОГМ, АГ, А1-ОГ2-С. Показники закордонних клапанних гомогенізаторів несуттєво відрізняються від вітчизняних.

Рисунок 5 – Схема двохступінчастої гомогенізуючої головки:

I - перша ступінь; II - друга ступінь; 1 - сідло клапана; 2 - клапан; 3 - корпус; 4 - натискний пристрій; 5 - гайка накидна; 6 - пружина; 7 - шток; 8 - стакан.

Продуктивність клапанного гомогенізатора дорівнює подачі його насоса. Для плунжерних насосів подача залежить від діаметра плунжерів та величини ходу, числа плунжерів та частоти обертання ексцентрикового вала.

При заданих параметрах об'ємна продуктивність гомогенізатора  $Q$ , м<sup>3</sup>/с може бути визначена за формулою

$$Q = \frac{\pi d^2}{4} S \cdot n \cdot z \cdot \varphi,$$

де  $d$  - діаметр плунжера, м;  $S$  - хід плунжера, м;  $n$  - частота обертання ексцентрикового вала, об/с;  $z$  - число плунжерів;  $\varphi$  - об'ємний ККД насоса (для молока  $\varphi = 0,85$ ).

Потужність, яку споживає гомогенізатор  $P$ , Вт визначається як:

$$P = \frac{Q \cdot p}{\eta},$$

де  $p$  - робочий тиск гомогенізації, Н/м<sup>2</sup>;  $\eta$  - ККД плунжерного насоса ( $\eta = 0,75$ ).

Таблиця 1 – Технічні характеристики клапанних гомогенізаторів

Марка гомогенізатора	К5-ОГ2А-250	К5-ОГ2А-500	К5-ОГ2А-1,25	А1-ОГ2М-2,5	А1-ОГ2М
Продуктивність, л/год.	250	500	1250	2500	5000
Тиск гомогенізації, МПа	12,5	18	20	20	20
Потужність двигуна, кВт	4,0	5,5	11,0	18,5	37,0
Габаритні розміри, мм довжина	970	970	970	1475	1475
ширина	650	650	860	1120	1120
висота	1100	1100	1400	1640	1640
Маса, кг, не більше	400	420	760	1350	1400
Питома енергоємність, кВт·год./т	16,0	11,0	8,8	7,4	7,4

**Переваги** клапанних гомогенізаторів:

- високий ступінь гомогенізації;
- широке застосування та масовий промисловий випуск.

**Недоліки** клапанних гомогенізаторів:

- висока вартість (більше 5000 грн.);
- дуже низький технологічний коефіцієнт корисної дії (0,0018%);
- дуже високі питомі витрати енергії (6,5...7,6 кВт/т);
- відсутність конструкцій з продуктивністю менше за 800 л/год.;
- висока маса, металомісткість та габаритні розміри;
- високі вимоги до якості очищення продукту;
- складність конструкції;
- необхідність у двохступінчастій обробці.

Комбінування двох способів гомогенізації у одній машині (або послідовна обробка продукту на двох різних гомогенізаторах) доцільне для виправлення недоліків основного способу гомогенізації (або недоліків першої машини).

Так, на підприємствах, де застосовуються щільні гомогенізатори, замість двохступінчастої обробки в цих машинах вигідно на другій стадії обробки, яка необхідна для перешкоджання злипанню часток жиру, використати дешевий відцентровий гомогенізатор. Завдяки цьому питомі витрати енергії значно зменшаться.

Можна також поєднати конструкцію струменевої гомогенізації з відбивачем, у якій недостатній ступінь перемішування продукту і досить

високий ступінь гомогенізації з вихровою, яка, навпаки має невеликий ступінь гомогенізації, але добре перемішує продукт.

Гідродинамічний вібратор можна використовувати для попередньої або кінцевої обробки суміші, поєднуючи його майже з будь-яким іншим гомогенізатором з метою збільшення ступеня подрібнення та перемішування, з одночасним зменшенням бактеріального забруднення продукту.

Серед недоліків, властивих комбінованим машинам, одним з головних є збільшення їх вартості. Досить великі труднощі представляє собою процес поєднання їх у одну поточно-технологічну лінію, тому що залежність основних параметрів (тиску та продуктивності) для різних видів гомогенізаторів описується різними формулами.

Крім того, для більшості з описаних вище способів гомогенізації спектр продуктивності промислово освоєних машин недостатньо широкий. З цієї причини досить важко створити комбіновані гомогенізатори з регулюванням продуктивності. Зважаючи на це, ефективніше все-таки розвивати один з попередньо перелічених способів для створення нової високоефективної машини.

У результаті аналізу існуючих способів гомогенізації можна виділити найбільш перспективні з них. Такими є вакуумні, ультразвукові, відцентрові та струменеві (рисунок 6). Основним напрямком подальшого їх вдосконалення повинно бути ретельне дослідження для створення ефективних гомогенізаторів, що будуть відповідати усім сучасним вимогам.

Розглянемо послідовно наведені гомогенізуючі пристрої.

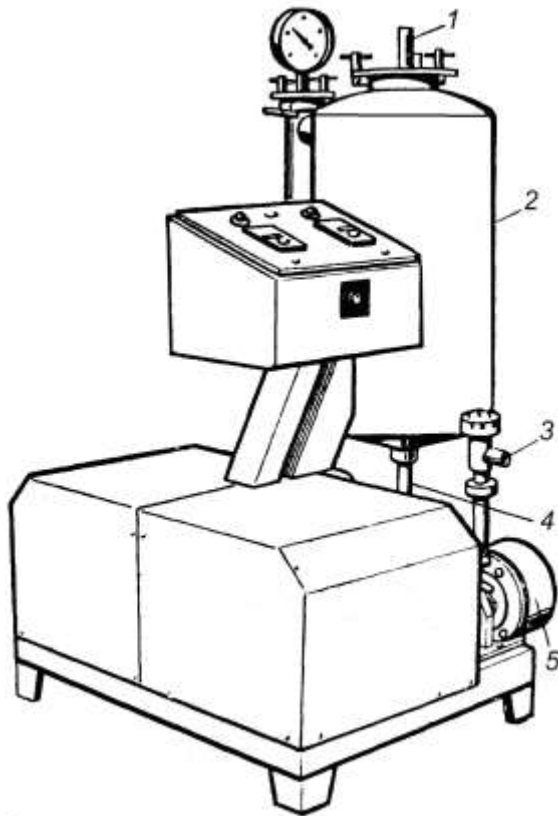


Рисунок 6 – Перспективні види гомогенізуючих пристроїв.

**Вакуумний гомогенізатор** працює з використанням метода уведення енергії у потік рідини на основі процесів адіабатного скипання перегрітої рідини у вакуумі. При цьому гідродинамічне дроблення жирових часток відбувається за рахунок динаміки парових пухирців, а також на основі кавітаційних ефектів та ефектів руйнування тонких рідинних плівок.

У таких гомогенізаторах диспергування жирової фази може відбуватися у одній або двох послідовно розташованих вакуумних камерах.

Метод емульгування полягає у наступному. Попередньо нагрітий продукт з температурою 75...95 °С подається у вакуумну камеру, де підтримується тиск 0,01...0,02 МПа.



При потраплянні у вакуумну камеру виникає ефект перегріву продукту, в результаті чого виникає вибухоподібне скипання, яке призводить до руйнування жирових кульок. У таких гомогенізаторах диспергування жирової фази може відбуватися у одній або двох послідовно розташованих вакуумних камерах.

Основним елементом апарата (рисунок 7) є вакуумна камера 2, яка представляє собою порожнинний резервуар діаметром 300 мм та висотою 800 мм.

Рисунок 7 – Вакуумний однокамерний гомогенізатор

1 - сопловий пристрій для уведення продукту; 2 - вакуумна камера; 3 - патрубок вводу емульсії; 4 - патрубок для відводу парів та повітря; 5 - водокільцевий вакуумний насос.

Уведення продукту, що обробляється, здійснюють через патрубок 1, який закінчується сопловим пристроєм. Вихід отриманого продукту здійснюється через патрубок 3 у нижньому днищі.

Пари та повітря усмоктовуються через бічний патрубок 4 водокільцевим вакуумним насосом. Продуктивність – 1 т/год.

У двохкамерному вакуумному гомогенізаторі необхідна температура знижена до 60...80 °С. Такий пристрій представляє собою дві вакуумні

камери, в першій з яких підтримується тиск  $0,15 \cdot 10^5 \dots 0,3 \cdot 10^5$  Па, в другій –  $0,03 \cdot 10^5 \dots 0,15 \cdot 10^5$  Па.

Молоко, підігрите до  $60 \dots 80$  °С, розпилюється послідовно в першій та другій вакуумних камерах.

В Інституті технічної теплофізики НАН України розроблені два види вакуумних гомогенізаторів ВГ-5 та ВГ-10 (таблиця 2).

Таблиця 2 – Технічні характеристики вакуумних гомогенізаторів

Параметри	Марка гомогенізатора	
	ВГ-5	ВГ-10
Продуктивність, т/год	5	10
Робочий тиск, МПа	0,001	0,001
Питома енергоємність, Дж/л	2,4	2,5
Температура молока, °С	80-95	75-110
Маса, кг	800	1000
Габаритні розміри, мм	1900×1100×1700	1860×1500×1700

**Переваги** вакуумних гомогенізаторів:

- зниження кислотності та збільшення термостійкості молока;
- дегазація та дезодорація продукту;
- часткове знищення шкідливої мікрофлори молока;
- можливість створення машин з широким діапазоном продуктивності;
- невеликі питомі витрати енергії;
- можливість поєднання з пастеризатором (стерилізатором).

**Недоліки** вакуумних гомогенізаторів:

- невисокий ступінь перемішування продукту;
- невеликий ступінь гомогенізації (діаметр жирових кульок не перевищує  $2,3 \dots 2,4$  мкм);
- великі габаритні розміри машини;
- необхідність у підігріванні продукту до  $60 \dots 95$  °С, що викликає незворотні наслідки в структурі продукту та вимагає додаткових енерговитрат.

**Ультразвукова гомогенізація** Ультразвукова гомогенізація заснована на кавітації, коли рідина зазнає інтенсивного впливу звукових хвиль і відбувається виникнення циклів високого і низького тиску, що чергуються (приблизно 20000 циклів/с).

Під час дії низького тиску утворюються маленькі вакуумні пухирці. Коли пухирці досягають певного розміру, вони стрімко руйнуються під час дії

високого тиску. Під час внутрішнього вибуху локально генеруються дуже високий тиск і високий швидкість струменя рідини.

Отримані потоки і турбулентність розривають агломерати часток і приводять до сильних зіткнень між індивідуальними частками.

Принцип дії пристрою для ультразвукової гомогенізації з електромеханічним збудником показаний на рисунку 9. Віброелемент являє собою лопать, встановлену у резонансному блоці 3. При створенні відповідної частоти вібрацій потік продукту гомогенізується.

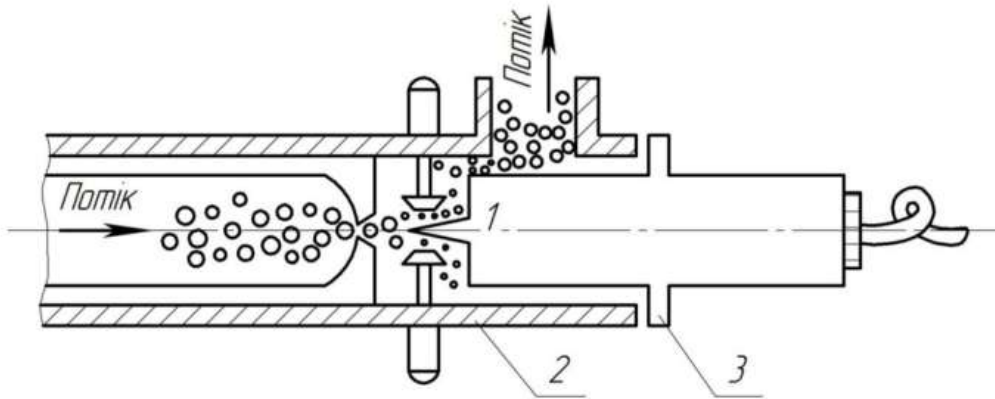


Рисунок 8 – Схема процесу ультразвукової гомогенізації

1- віброелемент; 2- контрольно-регулюючий пристрій; 3 - резонансний блок

Існують конструкції гідродинамічного вібратора в якому кінетична енергія потоку безпосередньо перетворюється в енергію пружних коливань високої частоти.

При роботі вібратора усі частинки рідини проходять зону максимального впливу звуку, при цьому частинки обробленого молока не зустрічаються з частками необробленого. Гідродинамічний вібратор складається з корпуса, коливальної системи та сопла для подавання продукту до коливальної системи.

Сопло представляє собою трубу з концентрично встановленим в порожнині витискачем. Коливальна система складається з пакета пластин прямокутної форми товщиною 0,6...0,8 мм.

Пластини заповнюють порожнину камери, вони розташовані уздовж її повздовжньої осі та встановлені на хрестоподібній державці, яка жорстко зв'язана з відбиваючою площиною. Остання встановлена у корпусі з утворенням кільцевого зазору. Відстань між пластинами 6...7 мм.

При випробуванні гідродинамічного вібратора отриманий певний ефект гомогенізації та бактеріального очищення.

**Переваги** ультразвукової гомогенізації:

- легкість регулювання ступеня гомогенізації;
- можливість створити машини з будь-якою продуктивністю;
- невибагливість до забруднення продукту, що обробляється;
- поєднання гомогенізації з бактеріальним очищенням.

**Недоліки** ультразвукової гомогенізації:

- недостатня вивченість ультразвукової гомогенізації;
- невеликий ступінь гомогенізації, мінімальний діаметр жирових кульок не перевищує 1,48 мкм;
- складна конструкція машин з електромеханічним збудником;
- висока чутливість до пульсації насоса.

**Роторні гомогенізатори** застосовуються для змінення консистенції таких молочних продуктів як плавлені сири і вершкове масло. У обробленому з їх допомогою продукті водна фаза диспергується, внаслідок чого продукт краще зберігається.



Рисунок 9 – Гомогенізатор М6-ОГА для вершкового масла

Принцип роботи роторного гомогенізатора полягає у наступному. Продукт подається у бункер, звідки за допомогою двох шнеків, що обертаються у протилежних напрямках, продавлюється через ротор і з насадки з діафрагмою виходить у бункер фасувального апарата. Для

запобігання налипанню продукту на робочі органи машини останні змащуються перед початком роботи спеціальним гарячим розчином.

Продуктивність гомогенізатора залежить від частоти обертання шнеків, що подають, і становить  $0,8...1,5 \text{ м}^3/\text{год}$ .

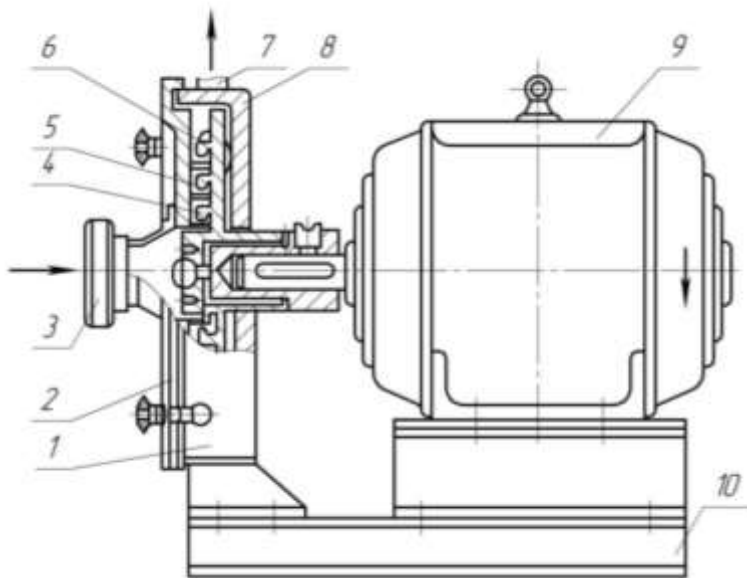
**Переваги** роторних гомогенізаторів:

- простота конструкції;
- широкий діапазон продуктивності;
- широка промислова застосовність;
- невеликі розміри та металомісткість.

**Недоліки** роторних гомогенізаторів:

- застосовуються тільки для продуктів з високою густиною;
- диспергується лише водяна фаза, ступінь подрібнення низький;
- необхідність у періодичному змащуванні робочих органів.

**Відцентровий гомогенізатор** (рисунок 10) являє собою два диски, один з яких 2 нерухомий, а другий 8 обертовий, з'єднаний з валом двигуна 9. Рухомий диск має кільцеві виступи з отворами 4, 5 і 6. Ці виступи входять у пази на нерухомому диску.



Продукт подається у вхідний патрубок 3 та потрапляє на перше внутрішнє кільце 4 з отворами, що прикріплене до обертового диску. Крізь отвори на периферії цього кільця суміш потрапляє на нерухоме кільце на кришці та переливається на друге обертове кільце 5, а потім і на третє 6.

Рисунок 10 – Відцентровий гомогенізатор

1 - корпус; 2 - кришка; 3 - подача емульсії; 4, 5, 6 - кільця з отворами; 7 - вихід емульсії; 8 - обертовий диск; 9 - електродвигун; 10 – станина.

При відповідній частоті обертання вала двигуна, у міждисковому просторі виникають зони зі зниженим та підвищеним тиском: утворюються бульбашки пари, які періодично захлопуються, що призводить до гідравлічного удару. Це явище відоме як кавітація.

Кавітація призводить до руйнування жирових кульок молока та інтенсивного перемішування продукту. Але поряд з цим поверхні, які



знають гідралічного удару, достатньо швидко руйнуються. Відводиться продукт під дією відцентрових сил через патрубок 7.

**Переваги** відцентрового гомогенізатора:

- невеликі питомі витрати енергії;
- широкий діапазон продуктивності;
- невисока маса, габаритні розміри та металомісткість;
- невибагливість до забруднення твердими частками;
- можливість використання як насоса для перекачування молока.

**Недоліки** відцентрового гомогенізатора:

- невисокий ступінь гомогенізації;
- продукти зносу робочих органів машини забруднюють продукт;
- необхідність у зміцненні поверхневого шару робочих органів спеціальною обробкою або використання спеціальних твердих сплавів, що збільшує вартість машини.

Одним з перспективних способів є **пульсаційна гомогенізація**.

Встановлено, що подрібнення часток дисперсної фази емульсії можливе при дії на них серії одиночних збурювань великої інтенсивності. Такі збудження можуть бути створені, зокрема, гідралічними або пневматичними пульсаційними побудниками, з'єднаними з поршнем, який впливає на емульсію, що повільно протікає через циліндр з цим поршнем.

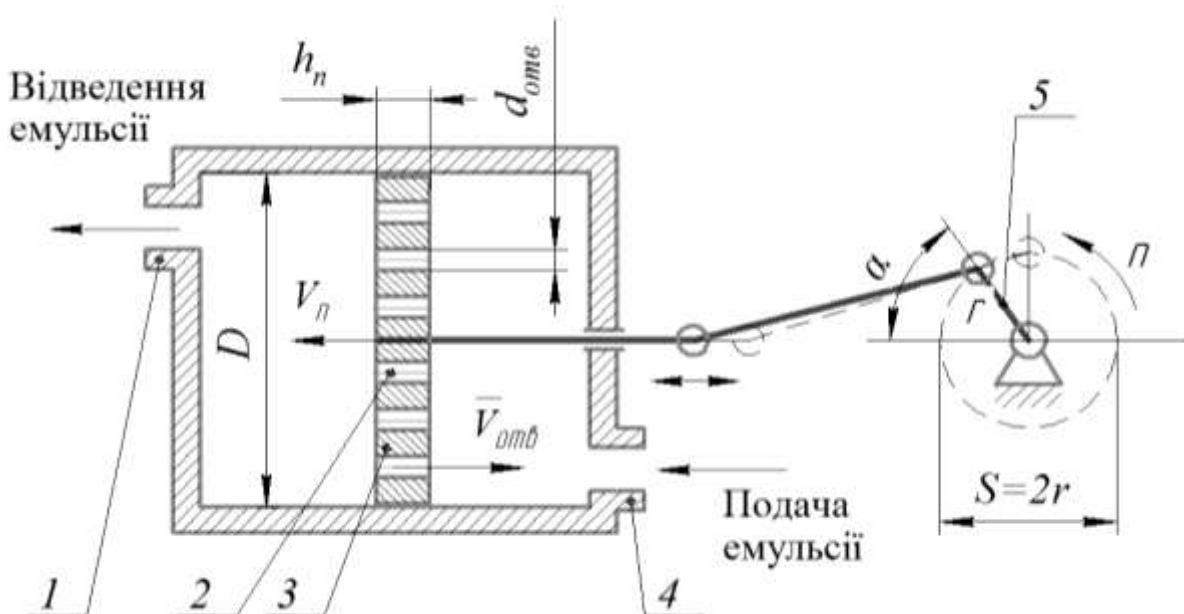


Рисунок 11 – Принципова схема пульсаційної гомогенізації:

- 1 - патрубок для відведення емульсії; 2 - отвори поршня; 3 - поршень; 4 - патрубок подачі емульсії; 5 - регульований кривошип.

На схемі показані:  $V_n$  - швидкість поршня;  $V_{омв}$  - швидкість емульсії в отворах поршня;  $d_{омв}$  - діаметр отворів;  $D$  - діаметр камери;  $r$  - радіус кривошипа;  $\alpha$  - кут повороту кривошипа;  $h_n$  - товщина поршня;  $S$  - амплітуда коливання поршня.

Випробування пульсаційного гомогенізатора показали, що він створює у гомогенізованому середовищі збурювання тиску інтенсивністю 1,5 МПа з частотою 50 Гц, а середній діаметр жирових кульок після обробки в даному апараті становить 0,5 мкм. Диспергування в пульсаційному гомогенізаторі відбувається за рахунок градієнту швидкості потоку, який виникає завдяки імпульсним рухам поршня-ударника. І чим інтенсивнішими будуть коливання, тим більшим буде градієнт швидкості, а отже і ступінь диспергування.

**Переваги** пульсаційного гомогенізатора: невеликі питомі витрати енергії; невисока маса, габаритні розміри та металоємність; невибагливість до забруднення твердими частками;

**Недолік** – деяка обмеженість у продуктивності.

#### 4 Оснащення робочого місця лабораторної роботи

Для проведення експериментальних досліджень процесу пульсаційної гомогенізації молока розроблена лабораторна установка, схема якого представлена на рис. 12.

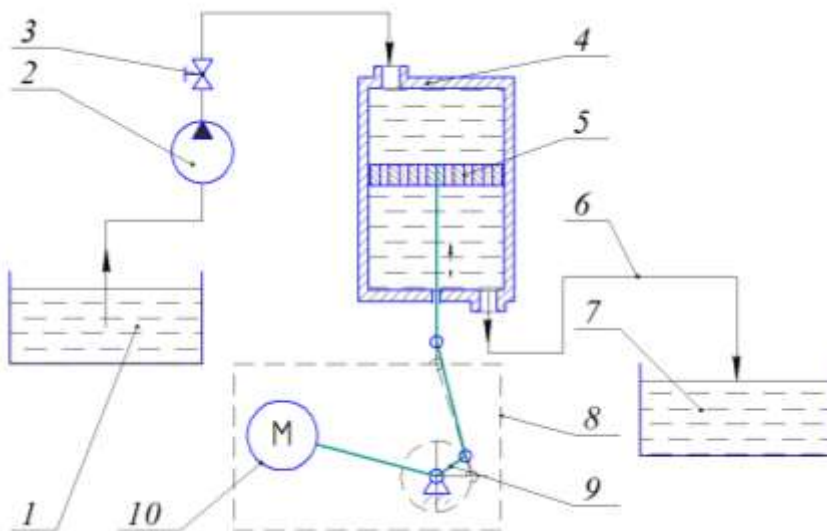


Рисунок 12 – Схема лабораторної установки для дослідження ППГ:

1, 7 – технологічні ємності відповідно для подачі та збирання молока; 2 – насос; 3 – вентиль; 4 – робоча камера гомогенізатора; 5 – поршень; 6 – трубопроводи; 8 – привід руху робочого органу; 9 – кривошипний механізм з регулятором амплітуди; 10 – електродвигун з електричним регулятором частоти обертання валу.

Установка складається з ємностей для подачі молока у гомогенізатор 1 і накопичення обробленого молока 7, насоса подачі молока 2, вентиля 3 і робочої циліндричної прозорої камери імпульсного гомогенізатора 4, всередині якого розташований поршень 5 з отворами. Поршень приводиться в коливальні рухи приводом 8, який складається з електродвигуна 10 з електричним регулятором частоти обертання валу та кривошипного механізму 9 з можливістю регулювання радіуса кривошипу.

Установка працює таким чином. В ємність 1 заливали незбиране молоко, підігрите до необхідної температури, звідки насосом 2 подавали його у камеру гомогенізатора 4 через вентиль 3, який служить для регулювання подачі продукту. При коливальних рухах поршня 5 відбувалось диспергування жирової фази молока, після чого оброблений продукт зливався в ємність 7.

На рис. 13 представлений загальний вид лабораторної установки для пульсаційної гомогенізації молока.

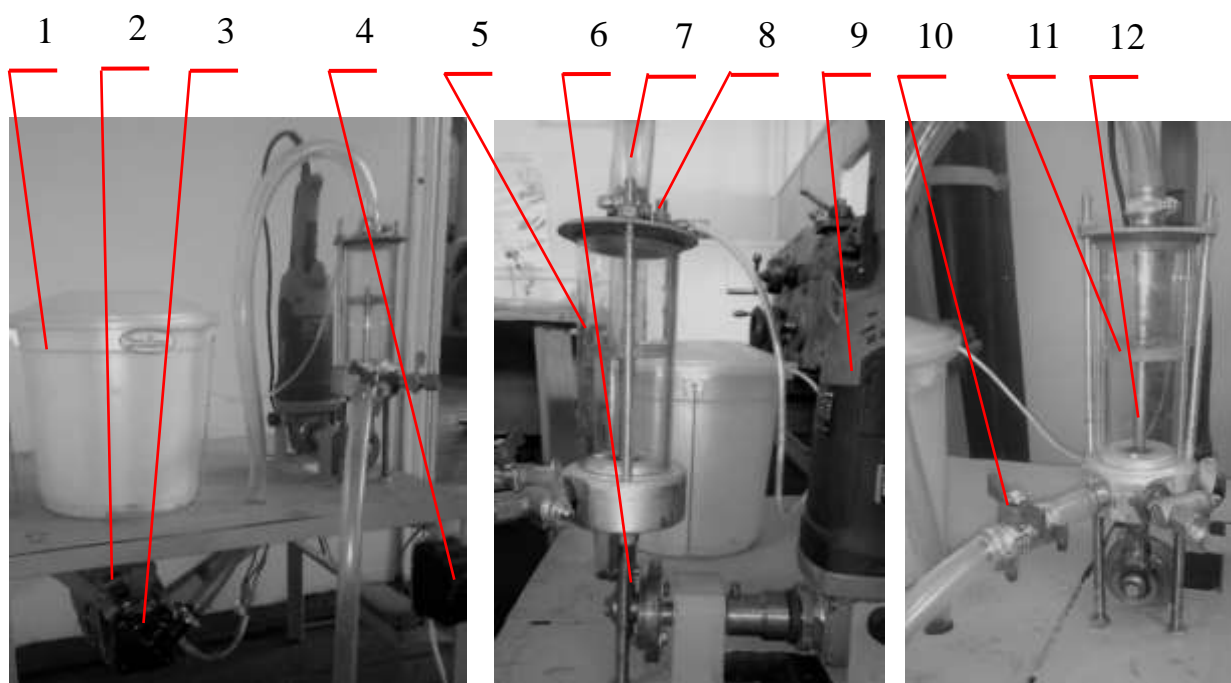


Рис. 13. Будова лабораторної установки пульсаційної гомогенізації молока: а) загальний вид установки, б) будова камери гомогенізатора.

1 – приймальна ємність; 2 – перепускний вентиль; 3 – насос; 4 – пульт керування; 5 – робоча камера; 6 – кривошипний механізм; 7 – патрубок подачі продукту в камеру; 8 – перепускний вентиль; 9 – електродвигун приводу обертання кривошипу; 10 – випускний вентиль; 11 – поршень; 12 – шток.

Розроблена експериментальна установка дає можливість регулювати:

- подачу молока у камеру гомогенізатора;
- частоту коливань поршня;
- амплітуду коливань поршня;
- матеріал поршня і його товщину;
- кількість, діаметр, розташування і форму отворів поршня.

Для оцінки якості імпульсної гомогенізації використовується мікроскопічний метод.

Підрахунок жирових кульок проводиться на біологічному мікроскопі МИКМЕД-1, оснащеному рахунковою камерою Горяєва.

Рахункова камера Горяєва, схема показана на рисунку 14, являє собою товсту скляну пластину (предметне скло) з поглибленням у центрі, рівним 0,1 мм.

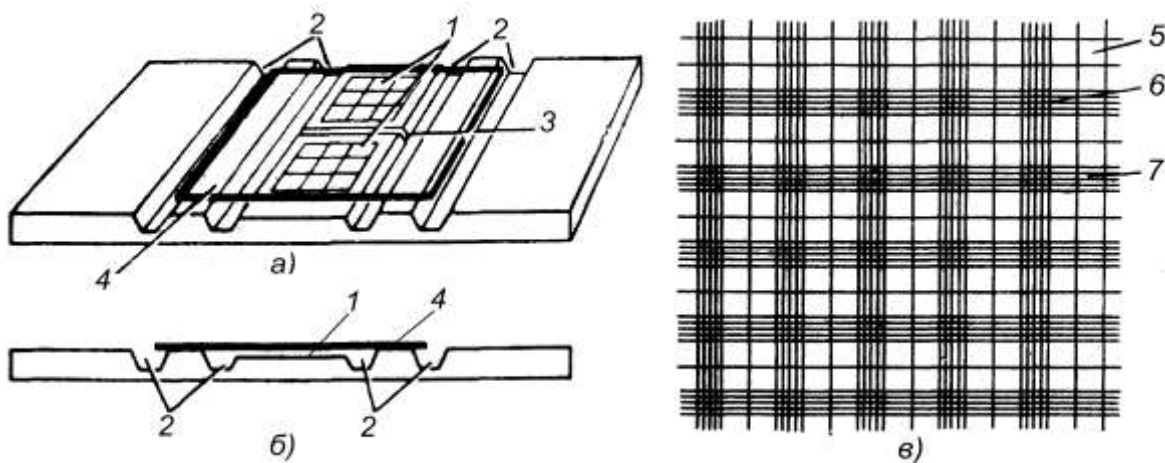


Рисунок 14 – Схема рахункової камери Горяєва:

а) загальний вид; б) вид збоку; в) схема сітки:

1 - пластинки з гравірованими сітками; 2 - поздовжні жолобки; 3 - поперечний жолобок; 4 - покривне скло; квадрати: 5 - порожні (усього 100); 6 - розділені на малі (по 16); 7 - розділені смугами.

На дні камери нанесені дві сітки Горяєва, розмежовані глибокою поперечною канавкою. Збоку від сіток перебувають скляні прямокутні ділянки пластинки, до яких притирають спеціальні шліфовані покривні стекла.

Сітка являє собою квадрат  $3 \times 3$  мм, який розділений зверху і зліва на 15 рівних частин і складається з 225 великих квадратів.

Кожний третій ряд як зверху, так і ліворуч розділений ще на 4 частини і у такий спосіб на перетинанні утворюються квадрати, розділені в свою чергу на 16 малих.

Великі квадрати, розсічені вертикально і горизонтально на 16 малих квадратів, чергуються із іншими такими ж за розміром квадратами, розділеними тільки вертикальними або горизонтальними лініями і квадратами чистими, без ліній.

Визначення кількості жирових кульок молока проводиться у наступній послідовності.

Одну краплю попередньо розведеного молока помістити в центр рахункової камери і накрити покривним склом, злегка притиснути його краї (а не середину).

Залишити у спокої на 5...10 хв. Настроїти мікроскоп на чітке зображення жирових кульок і сітки камери.

Підрахувати кількість кульок в п'яти великих квадратах (або в 80 малих), розташованих у різних частинах препарату. При цьому, якщо кулька лежить більшою своєю частиною поза межею квадрату, то його не враховують.

Кількість жирових кульок, підраховану в п'яти великих квадратах, підсумовують, визначають їх середню кількість  $X$ , яке міститься в  $1 \text{ мм}^3$  молока, враховуючи степінь розведення, за формулою:

$$X = \frac{M \cdot C \cdot 10^5}{80 \cdot 25},$$

де  $M$  - кількість жирових кульок у 80 квадратах;  $C$  - степінь розведення ( $1:C$ );  $80$  - кількість квадратів;  $25 \cdot 10^5$  - ємність квадрата,  $\text{мм}^3$ .

Після виконання підрахунку необхідно промити камеру Горяєва водою, протерти її сітки чистою фланеллю, а потім тканинним тампоном змоченим спиртом (ректифікатом).

## 5 Порядок виконання лабораторної роботи

Перед виконанням експерименту студент погоджує з викладачем програму проведення дослідів по визначенню впливу таких факторів, як амплітуда коливання поршня-ударника, частоти їх коливання, подача молока.

- 1) Налаштувати лабораторну установку для виконання експерименту, перевірити всі її з'єднання;
- 2) Підігріти молоко до температури гомогенізації, залити його в приймальну ємність;
- 3) Провести процес гомогенізації молока при заданих значеннях параметрів гомогенізації;
- 4) Відібрати проби молока після проведеного дослідіду.

При виконанні наступного досліду слід повторити пункти 1)...4) даного розділу;

Відбір проб молока слід проводити у такій послідовності:

- 1) молоко після гомогенізації ретельно перемішати, неодноразово переливаючи з посудини у посудину, уникаючи утворення піни;
- 2) з центральної частини загального об'єму відбирають 1 мл молока та розводять дистильованою водою у пропорції 1 до 100;
- 3) пункт 2) повторити 3 рази;
- 4) помістити краплю суміші в рахункову камеру Горяєва і витримати 5...10 хв.;
- 5) провести підрахунок жирових кульок і обрахувати результат;
- 6) За результатами дослідів з різними умовами їх проведення побудувати гістограми розподілення жирових кульок за їх розмірами;
- 7) Зробити аналіз одержаних результатів експерименту, сформулювати висновки і оформити звіт з лабораторної роботи.

Після проведення експериментальної частини роботи привести установку у вихідне положення і прибрати робоче місце.

## **6 Вимоги безпеки**

Під час проведення роботи слід дотримуватись правил загальної інструкції з охорони праці, наведених у розділі „Загальні вимоги безпеки“.

## **7 Контрольні питання**

- 1 Сутність гомогенізації і переваги гомогенізованих продуктів.
- 2 Головні ознаки класифікації гомогенізуючого обладнання.
- 3 Клапанні гомогенізатори, застосування, переваги і недоліки.
- 4 Сутність комбінування двох і більше способів гомогенізації.
- 5 Класифікація перспективних способів гомогенізації.
- 6 Принцип дії вакуумних гомогенізаторів, перспективи їх розвитку.
- 7 Ультразвукова гомогенізація, переваги і недоліки, перспективи.
- 8 Роторні і відцентрові гомогенізатори, область застосування.
- 9 Сутність імпульсної гомогенізації, конструкція обладнання.
- 10 Будова рахункової камери Горяєва, правила її використання.

## **8 Тестові завдання**

### **1) За скількома ознаками класифікують гомогенізатори?**

1. двома;
2. трьома;
3. чотирма.

### **2) Робочий тиск клапанних гомогенізаторів складає...**

1. 1,5...2,5 МПа;                    2. 15...25 МПа;                    3. 150...250 МПа.

**3) До якої температури попередньо підігрівають молоко перед обробкою у вакуумному гомогенізаторі?**

1. 75...95 °С;                    2. 55...65 °С;                    3. 25...30 °С.

**4) Який з наведених типів гомогенізаторів дозволяє одержати мінімальний розмір жирових кульок молока?**

1. вакуумний;                    2. клапанний;                    3. ультразвуковий.

**5) Який з наведених типів гомогенізаторів має найбільші питомі витрати енергії?**

1. вакуумний;                    2. ультразвуковий;                    3. клапанний.

**6) Які продукти обробляють на роторних гомогенізаторах?**

1. незбиране молоко;                    2. збиране молоко;  
3. плавлені сири і вершкове масло.

**7) Які гомогенізуючі органи застосовують у конструкціях пульсаційних гомогенізаторів?**

1. поршні;                    2. диски;                    3. плунжери.

**8) Зі скількох великих квадратів складається сітка рахункової камери Горяєва?**

1. 125;                    2. 225;                    3. 625.

**9) Який з названих приладів не входить до конструкції ультразвукового гомогенізатора?**

1. електромеханічний збудник;                    2. гідродинамічний вібратор;  
3. кривошипно-шатунний механізм.

**10) Скільки плунжерів насоса клапанного гомогенізатора потрібно, щоб забезпечити нерівномірність подачі 1,05?**

1. один;                    2. три;                    3. п'ять.

#### **Рекомендована література**

1. Гвоздев О.В. Технологічне обладнання для переробки продукції тваринництва/ О.В.Гвоздев та ін. Навчальний посібник / За ред. к.т.н. О.В. Гвоздева, - Суми: Довкілля, 2004. - 420 с.

2. Лукьянов Н. Я. Оборудование предприятий молочной промышленности / Н. Я. Лукьянов, Н. В. Барановский. - М.: Пищевая промышленность, 1968. - 406 с.

3. Гвоздев О.В. Машини і устаткування для переробки продукції тваринництва. Курс лекцій з дисципліни „Механізація переробки

сільськогосподарської продукції“ / О.В. Гвоздєв. - Мелітополь, ТДАТА. 2001.- 130 с.

4. Єресько Г.О. Технологія обладнання молочних виробництв / Г.О. Єресько, М.М. Шинкарик, В.Я. Ворошук - К.: “ІНКОС” центр навчальної літератури, 2007. - 344 с.