

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО**

Механіко-технологічний факультет



Кафедра ОПХВ ім. проф. Ф.Ю. Ялпачика

**УСТАНОВКА СТРУМИННОЇ ГОМОГЕНІЗАЦІЇ МОЛОКА З
РОЗДІЛЬНИМ ПОДАВАННЯМ ВЕРШКІВ**

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

Установка струминної гомогенізації молока з роздільним подаванням вершків. Методичні вказівки для студентів, які навчаються за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування», здобувачів ступеня вищої освіти «Магістр» – Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного, 2020 - 17 с

Розробники: к.т.н., доцент Паляничка Н.О.
к.т.н., доцент Самойчук К.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

УСТАНОВКА СТРУМИННОЇ ГОМОГЕНІЗАЦІЇ МОЛОКА З РОЗДІЛЬНИМ ПОДАВАННЯМ ВЕРШКІВ

Мета роботи: вивчити будову і принцип роботи установки для струминної гомогенізації молока з роздільним подаванням вершків, встановити залежності процесу струменевої гомогенізації.

Час виконання роботи 4 год.

1 Порядок виконання роботи

- розглянути будову та принцип дії лабораторної установки для струминної гомогенізації молока;
- провести експериментальні дослідження процесу гомогенізації з роздільним подаванням вершків при різних режимах роботи установки;
- відібрати проби молока, підданого гомогенізації, і провести їх мікроскопні дослідження;
- провести статистичний аналіз результатів експерименту;
- сформулювати висновки за результатами роботи;
- скласти звіт по роботі, захистити його у викладача.

2 Завдання для самопідготовки

У процесі підготовки до заняття студент повинен:

- **вивчити і повторити:** основні загальні питання процесу гомогенізації, теоретичні основи струминної гомогенізації;
- **знати:**
 - 1) сутність гомогенізації рідких харчових продуктів, область застосування цього процесу на переробних та харчових підприємствах;
 - 2) види та конструкції гідродинамічних гомогенізаторів молочних продуктів;
- **вміти:** проводити налаштування лабораторної установки за умовами дослідів, користуватися контрольно-вимірювальними приладами, проводити визначення основних аналітичних залежностей за темою дослідження, проводити аналіз результатів експерименту.

3 Теоретичні відомості за темою роботи

3.1 Загальна характеристика тенденцій галузі

Гомогенізація молока являє собою процес зменшення розмірів часток дисперсної фази (вершків) та її рівномірного розподілу у молочній плазмі (дисперсійного середовища).

Незважаючи на майже сторічну історію використання гомогенізації у нормативних процесах, що входять до складу технології переробки більшості продуктів молокопереробної галузі, досі не вдалося вирішити питання великих енергетичних витрат процесу, що складають до 8...10 кВт·год/т продукту.

До теперішнього часу немає чітко визначеної, єдиної теорії диспергування жирової фази молока при гомогенізації. Основна причина цього – це важка доступність безпосереднього спостереження руйнування жирових кульок внаслідок високих швидкостей їх руху і мікроскопічних розмірів. Більшість авторів розробок нових видів гомогенізаторів обмежуються лише описом принципу їх дії і називають саме це „механізмом гомогенізації“.

Недостатність експериментальних даних призвела до появи кількох гіпотез гомогенізації, основними з яких є наступні:

- руйнування під впливом дії поздовжнього градієнта швидкості потоку при вході у клапанну щілину (М.В. Барановський);
- руйнування під впливом поперечного градієнту швидкості потоку у клапанній щілині (Ребіндер і Вітгінг);
- руйнування за рахунок відцентрової сили при обертальному рухові жирової кульки у градієнтному полі швидкостей (В.Д. Сурков);
- руйнування за рахунок кавітації;
- руйнування здуванням мікрочасток з поверхні жирової кульки (М.М. Орешина);
- гіпотеза субкавітаційної гомогенізації (Є.А. Фіалкова);
- гіпотеза руйнування при рухові емульсії з прискоренням (К.О. Самойчук).

Крім основних гіпотез існують і такі, що не знайшли широкого розповсюдження, або не мають достатнього обґрунтування, як-то, розрізання часток жиру при вході у клапанну щілину, вибух у рідині, стирання жирових кульок, удар струменя, ультразвукова гомогенізація. Але не виключено, що ці теорії у майбутньому отримають подальший розвиток, адже гідродинаміка містить достатню кількість парадоксів.

Кожна з гіпотез базується на певному фізичному явищі, тому для здійснення гомогенізації та отримання тонкодисперсної емульсії використовують клапанні, відцентрові, імпульсні, ультразвукові, вакуумні, електрогідравлічні, роторно-пульсаційні, гідродинамічні та інші апарати. Однак, перелічені конструкції або забезпечують надто великий відносно вимог нормативних документів розмір жирових кульок після подрібнення,

або мають високі енергетичні витрати, або ж вже досягли меж технічної досконалості.

Провідні вчені вважають, що досягти суттєвої економії енергії, що витрачається на здійснення процесу, можливо досягти шляхом використання конструкцій струминних гомогенізаторів. У них зменшення розмірів часток дисперсної фази відбувається внаслідок створення максимальної різниці між швидкостями дисперсійної та дисперсної фаз продукту.

До недоліків таких конструкцій слід віднести їх недостатню дослідженість. По суті, досконало дослідженим є лише процес протитечійно-струминної гомогенізації молока (рисунок 1).

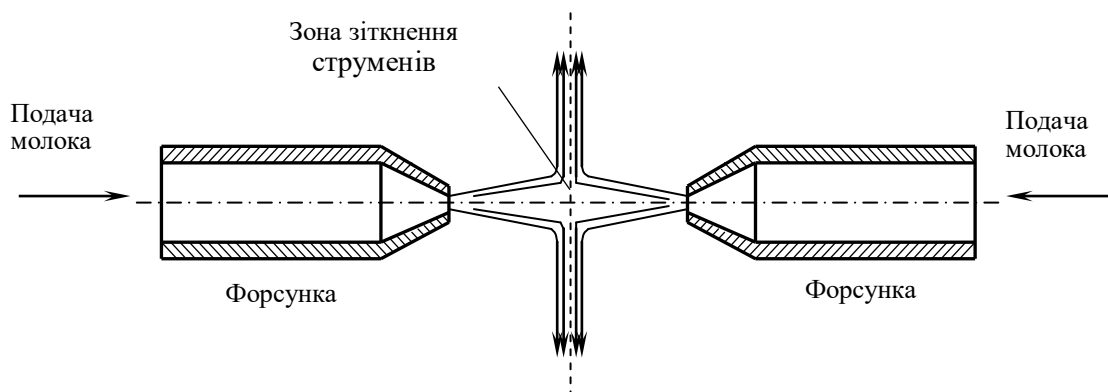


Рисунок 1 – Схема протитечійно-струминної гомогенізації

Для його здійснення молоко з ємності під тиском подається крізь дві форсунки, що мають раціонально обґрунтовані діаметр та відстань розташування одна відносно одної. Після зіткнення у повітряному середовищі відбувається подрібнення жирової фази продукту, однак, водночас з цим проходить дестабілізація білкової фази молока, що проявляється у появі піни. Незважаючи на це, даний тип гомогенізатора дозволяє забезпечувати отримання молочних продуктів з середнім розміром жирових кульок на рівні 0,9...1,1 мкм, при зниженні енергетичних витрат процесу у 2...3 рази.

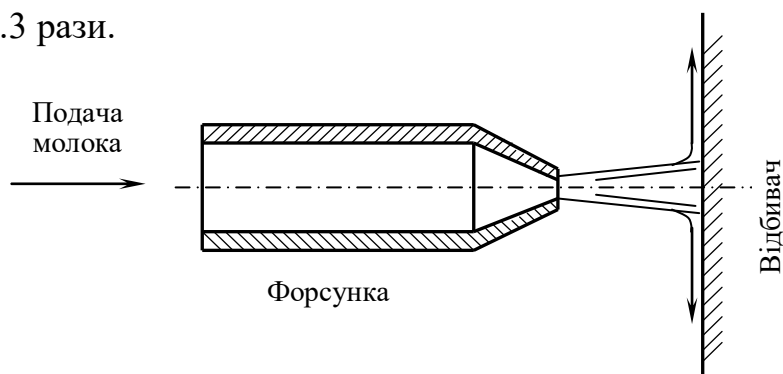
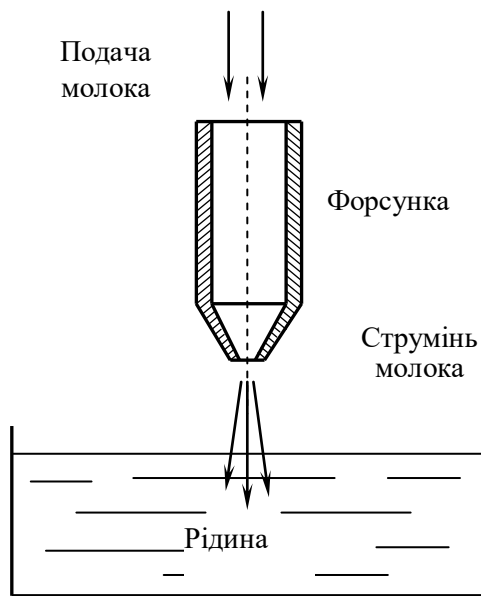


Рисунок 2 – Схема ударного струминного гомогенізатора

Менш дослідженою є конструкція, що передбачає створення різниці швидкостей фаз продукту за рахунок зіткнення потоку молока з перешкодою (відбивачем).



Прогнозовано, що досягнення ефекту в такій установці дозволить отримувати продукт з розмірами жирових часток на рівні 1,1...1,5 мкм при зниженні енергетичних витрат відносно клапанних конструкцій у 1,5...2 рази.

Якщо молоко під тиском подавати у вигляді струменя під рівень іншої рідини, наприклад знежиреного молока або пахти, також буде здійснюватися диспергування жирових кульок молока (рисунок 3)

Рисунок 3 – Схема одноструменевого гомогенізатора в об'ємі рідини

3.2 Відомості про технологію роздільної гомогенізації

Як відомо, гомогенізація належить до одного з самих енергоємних технологічних процесів у молочній промисловості, тому що при тиску 10 МПа необхідно збільшити поверхню розділу фаз на 500 тис м².

Одним з методів зниження енергоємності процесу гомогенізації є метод, заснований на попередньому виділенні сепарацією низькожирних (12%) вершків, гомогенізації їх при температурі 70 °С та тиску 10...15 МПа та послідууючої нормалізації вершків знежиреним молоком (роздільна гомогенізація).

Роздільну гомогенізацію застосовують для того, щоб отримати продукт з потрібним вмістом жиру, підвищити стабільність жирової фази та білків і обмежити небажаний механічний вплив на молочний білок при виробництві питного молока, кисломолочних продуктів, сирів.

Відомо, що процес роздільної гомогенізації має суттєві переваги над традиційною гомогенізацією, зокрема: зниження енергоємності процесу, забезпечення заданої концентрації молочного жиру, підвищення стабільності дисперсної фази та білків. Літературні джерела свідчать, що при роздільній гомогенізації продуктивність зростає до 2,5 разів, а витрати енергії зменшуються на 50...70%.

Гомогенізовані вершки змішуються у потоці зі знежиреним молоком, що надходить з сепаратора вершковідділювача, та направляються до секції

пастеризації пастеризаційно-охолоджувального устаткування. Вершки можна гомогенізувати також перед їх змішуванням зі знежиреним молоком при одержанні нормалізованого молока.

При виробництві роздільно гомогенізованого молока з використанням двохступінчастої гомогенізації масова доля жиру в вершках не повинна перевищувати 25%, а за одноступінчастої гомогенізації 16%. У молоці, отриманому з вершків з підвищеним вмістом жиру (більше 12%) та гомогенізованому роздільним способом, спостерігається посилене відстоювання жиру.

3.3 Загальні закономірності процесу струминної гомогенізації молока з роздільним подаванням жирової складової

Процес відбувається у камері гомогенізації, де до передбаченого технологічно місця найбільшого звуження центрального каналу камери a по вузькому каналу d подається тонкий струмінь вершків (рисунок 4). При такому типові подавання жирової фази швидкість вершків буде мати найбільшу різницю відносно швидкості руху знежиреного молока, при цьому швидкість знежиреного молока v_m сягає максимальних значень.

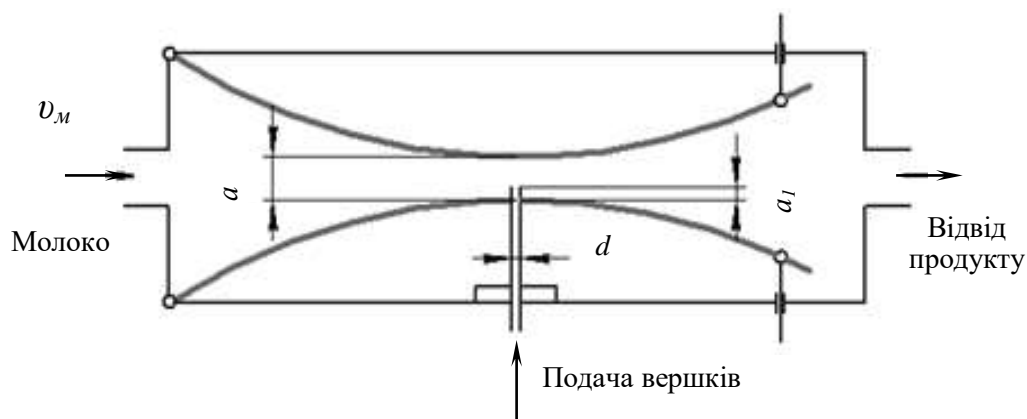


Рисунок. 2 – Схема струминного гомогенізатора молока з роздільною подачею вершків

Для опису процесу струминної гомогенізації з роздільною подачею вершків приймаються наступні вихідні параметри: надлишковий тиск $\Delta p = 1 \cdot 10^6 \dots 5 \cdot 10^6$ Па, коефіцієнт швидкості обумовлений конструкцією сопла камери подавання знежиреного молока, $\varphi = 0,95$, діаметр жирової кульки $d_k = 3 \cdot 10^{-6}$ м, коефіцієнт в'язкості $\nu = 1,5 \cdot 10^{-6}$ м²/с, густина плазми $\rho_{пл} = 1035$ кг/м³, поверхневий натяг на границі жир-плазма $\sigma_{ж-п} = 0,025$ Н/м. Діаметр сопла камери дорівнює згідно попередніх розрахунків $d_c = 4 \cdot 10^{-3}$ м.

Сила опору F при рухові жирової частинки викликає перепад тиску Δp_k , Па між внутрішніми та зовнішніми фазами кульки, що деформує та розриває її.

Для описання залежностей між параметрами v_l , d_k , $\rho_{жс}$, $\rho_{пл}$, ν та F_o застосуються відомі формули:

$$F_o = \frac{1}{8} Ne \cdot v_l^2 \cdot \pi \cdot d_k^2 \cdot \rho_{пл} \quad (1)$$

де Ne - критерій Ньютона; $v_l = v_m$ - швидкість потоку, м/с.

Критерій Ньютона визначається у залежності від характеру руху рідини, що, в свою чергу, залежить від безрозмірного критерію Рейнольдса Re

$$Re = v_l \cdot d_k / \nu. \quad (2)$$

$$\text{Швидкість знежиреного молока } v_l = \varphi \sqrt{\frac{2}{\rho_l} \Delta p} \quad (3)$$

Швидкість та число Рейнольдса за формулами (2) та (3) коливається у діапазоні значень $v_l = 43,1 \dots 96,5$ м/с; $Re = 114933 \dots 257333$. При $500 < Re < 200000$ режим руху турбулентний. При цьому $Ne = 0,45$

$$\text{Середня швидкість рідини дорівнює } u_c = \sqrt{\frac{17,8 \sigma_{жс-n}}{d_k \cdot \rho_{пл}}}. \quad (4)$$

Перепад тиску Δp_k , Па, між внутрішніми та зовнішніми фазами кульки, що деформує та розриває її знаходиться як:

$$\Delta p_k = F_o / \omega, \quad (5)$$

де ω - площа миделевого перерізу, тобто проекції краплі на площину, перпендикулярну до напрямку швидкості, м².

$$\omega = \pi \cdot d_k^2 / 4, \quad (6)$$

$$\text{Тоді} \quad \Delta p_k = \frac{1}{2} Ne \cdot \rho_{пл} \cdot u_c^2. \quad (7)$$

При низькому перепаді тиску Δp_k крапля деформується, але не розривається завдяки поверхневому натягу, який обумовлює спрямований всередину перепад тиску Δp_σ , Па.

$$\Delta p_\sigma = 4 \omega_{жс-n} / d_k. \quad (8)$$

Якщо Δp_k перевищує Δp_σ відбувається руйнування жирової кульки.

При турбулентному рухові рідини надлишковий тиск у камері гомогенізації, необхідний для руйнування жирової кульки, за критерієм Вебера дорівнює після перетворень:

$$\Delta p = \frac{2,7 \cdot 10^4 \cdot We \cdot \sigma_{жс-n} \cdot H_m}{\varphi^2}. \quad (9)$$

Критерій Вебера, незалежно від типу руху рідини, можна визначити залежно від ефекту гомогенізації у вигляді

$$We = f(H_m)^m, \quad (10)$$

де H_m - ступінь подрібнення; m - показник ступеню, значення якого для гомогенізації при високому тиску дорівнює 1,7.

$$H_m = d_1/d_k, \quad (11)$$

де d_1 і d_k - середній діаметр жирової кульки до гомогенізації і після гомогенізації;

Дослідження вчених рекомендують досягати подрібнення жирових кульок молока до можливо меншої величини (0,3...0,4 мкм). На практиці ж мінімальний середньоарифметичний розмір жирових кульок після гомогенізації складає 0,65...0,75 мкм.

Середній діаметр жирової кульки до диспергування у сирому молоці за оцінками різних дослідників складає від 2,5 до 4 мкм.

$$d_k = d_1/H_m. \quad (12)$$

Розрахунки, проведені за рядом експериментів у широкому діапазоні чисел Лапласа та за граничних значень критерію Вебера, показали, що найбільш важливим параметром, який визначає стійкість та руйнування крапель, є число Вебера.

$$We = \frac{u^2 \cdot d_n \cdot \rho_{пл}}{\sigma_{жс-n}}, \quad (13)$$

де u - різниця швидкостей жирової кульки та молока, м/с.

Встановлено, що при $We > 50$ зіткнення крапель супроводжуються вибуховим подрібненням, коли розпадання по всьому об'єму відбувається так швидко, що зрив поверхневого шару майже не помітний і велика кількість вторинних крапель радіально розлітаються з зони взаємодії. Саме так і повинен відбуватись процес подрібнення жирової кульки. Отже, за формулами (4), (13) і умові $\Delta p_k > \Delta p_\sigma$ середня швидкість $u_c = 41,4$ м/с; $Re = 399138 > 200000$; число Вебера $We = 53,2$.

Для оцінки режиму найбільшої ефективності запропонованого діапазону варіації тисків знежиреного молока необхідна оцінка за показниками якості та енергетичних параметрів процесу. Діаметр жирової кульки після диспергування визначається за формулою

$$d_k = 0,75 \frac{We_{кр} \cdot \sigma_{жс-n}}{\rho_{пл} \cdot u^2}, \quad (14)$$

де d_k - діаметр кульки, стійкої до дії турбулентного потоку рідини, м.

Для збільшення ефекту подрібнення необхідно підвищити відносну швидкість молока і жирової кульки шляхом збільшення швидкості жирової кульки перед включенням її до потоку знежиреного молока, що збільшить прискорення частинки та зменшить сили інерції.

За умови нерозривності потоку, при подачі жирової фази перпендикулярно потоку знежиреного молока, різниця швидкостей фаз у зоні подачі вершків буде дорівнювати

$$u = \frac{d_c}{a} \varphi \sqrt{\frac{2}{\rho_m} \Delta p_1}, \quad (15)$$

де a - відстань між напрямними центрального каналу у місці найбільшого звуження, м; ρ_m - густина молока, кг/м³.

Таким чином, формула (14) з урахуванням (15) матиме вигляд

$$d_k = 0,34 \frac{a^2 \cdot We_{кр} \cdot \sigma_{жс-n}}{\rho_{пл} \cdot d_c^2 \cdot \varphi^2 \cdot \Delta p_1}. \quad (16)$$

Критичні значення числа Вебера при руйнуванні крапель у потоці повітря визначені експериментально, однак для руйнування жирових кульок у потоці знежиреного молока значення його буде вище, враховуючи високу залученість до потоку сусідніх шарів плазми. Найбільш близьким до процесу струменевої гомогенізації є протитечійно-струминна, для якої експериментально підтверджені критичні значення числа Вебера варіюються у діапазоні 500...600.

Використання роздільної гомогенізації – один з шляхів вирішення задачі зниження енерговитрат на гомогенізацію.

Для струминного гомогенізатора продуктивність у кг/год., Q_2 можна розрахувати за формулою

$$Q_2 = Q_6 + Q_{zn}. \quad (17)$$

Подачу крізь канал подавання жирової фази можна розглядати як подачу крізь дросель

$$Q_{zn} = 3600 \varphi_6 \cdot S \cdot \rho_{пл} \sqrt{\frac{2}{\rho_6} \Delta p_2}, \quad (18)$$

де S – площа перетину в місці найбільшого звуження, м².

$$S = h \cdot a, \quad (19)$$

де h – висота камери по внутрішньому розміру, м.

$$Q_{zn} = 3600 \varphi_6 \cdot \rho_{пл} \frac{\pi d_6^2}{4} \sqrt{\frac{2}{\rho_6} \Delta p_2}, \quad (20)$$

де d_6 - діаметр каналу подавання жирової фази, м;

φ_g - коефіцієнт швидкості каналу подавання жирової фази;

Δp_2 - надлишковий тиск у каналі подавання жирової фази, Па.

Якщо зв'язати вирази (19) і (20) з жирністю вершків \mathcal{J}_g , знежиреного молока \mathcal{J}_{zn} і нормалізованої суміші $\mathcal{J}_{н.с.}$ можна визначити основні розміри d_g і S для забезпечення потрібної продуктивності.

Ці розміри визначаються за формулами:

$$d_g = \sqrt{\frac{4Q_2(\mathcal{J}_{н.с.} - \mathcal{J}_{zn})}{3600\varphi_g \cdot \rho_g \cdot \pi \sqrt{\frac{2}{\rho_g} \Delta p_2 (\mathcal{J}_g - \mathcal{J}_{н.с.})}}}. \quad (21)$$

$$S = \frac{Q_2(\mathcal{J}_g - \mathcal{J}_{н.с.})}{3600\varphi_g \cdot \rho_{пл} \sqrt{\frac{2\Delta p_1}{\rho_{пл}} (\mathcal{J}_g - \mathcal{J}_{zn})}}}. \quad (22)$$

Питомі енергетичні витрати процесу струминної гомогенізації молока з роздільним подаванням вершків визначаються за формулою:

$$E_{нит} = \frac{\Delta p_1}{\rho_m} + \frac{\Delta p_2}{\rho_g}. \quad (23)$$

або у вигляді

$$E_{нит} = \frac{We_{кр} \cdot \sigma}{2\rho_{пл} \cdot D_{max} \cdot \varphi^2}. \quad (24)$$

Зниження питомих витрат енергії при незмінному ступеню гомогенізації H_m можна досягти зменшенням коефіцієнта поверхневого натягу на границі жир-плазма за допомогою, наприклад, емульгаторів, що використовуються при подрібненні клапанними і іншими видами гомогенізаторів, або використанням технологічно обґрунтованих температурних режимів. Іншим шляхом зниження енергетичних витрат процесу є підбір раціональних значень коефіцієнта швидкості, тобто раціональної форми отворів патрубків подачі знежиреного молока та вершків.

Зниження енергетичних витрат струминного гомогенізатора по відношенню до клапанних зразків відбувається за рахунок використання принципу роздільної подачі дисперсної фази. У цьому випадку енергетичні витрати знижуються на 50...70%.

У цілому, енергетичні витрати струминного гомогенізатора молока з роздільним подаванням вершків складають 2,5...3,0 кВт·год/т продукту. При цьому середній розмір жирових кульок у таких гомогенізаторах коливається у діапазоні 0,8...0,85 мкм.

4 Оснащення робочого місця лабораторної роботи

Для виконання експериментальних досліджень застосовується лабораторна експериментальна установка для проведення струминної гомогенізації молока з роздільним подаванням жирової фази, схема якої показана на рисунку 3.

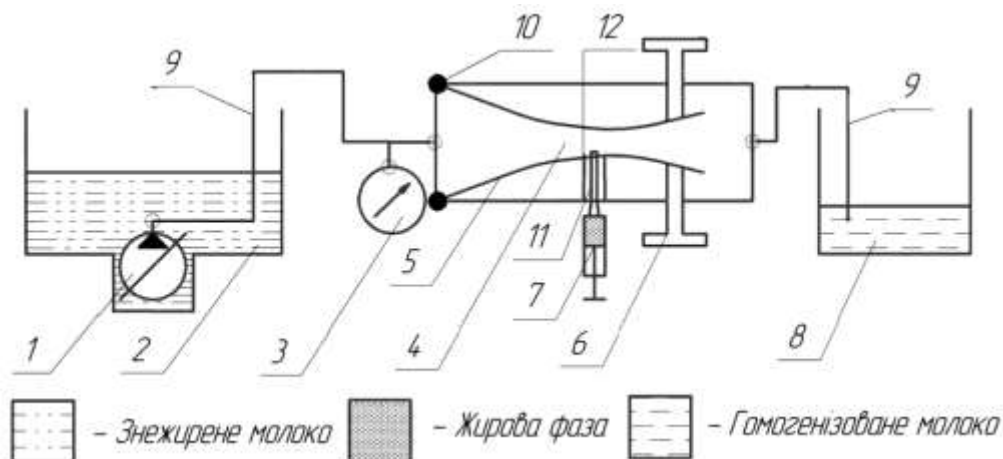


Рисунок 3 – Схема лабораторної установки для струменевої гомогенізації з роздільною подачею вершків:

1 - насос шестеренний; 2 - ємність для знежиреного молока; 3 - манометр; 4 - струменеутворювач; 5 - напрямні; 6 - регулювальні тяги; 7 - шприц для введення жирової фази; 8 - ємність для обробленого продукту; 9 - гнучкі трубопроводи; 10 - шарніри; 11 - голка; 12 - канал подачі жирової фази.



Рисунок 4 – Фото загального виду експериментальної установки:

1 - ємність з насосом для подачі вершків; 2 - насос НШ-10 подачі знежиреного молока; 3 - електродвигун; 4 - з'єднувальні трубопроводи; 5 - ємність для знежиреного молока; 6 - камера гомогенізації; 7 - манометр; 8 - дрослюючий вентиль; 9 - блок керування насоса подачі вершків; 10 - пакетний вимикач.

З ємності 2 знежирене молоко через насос 1 по трубопроводах надходить до корпусу струменеутворювача 4. Манометр 3 контролює значення тиску. У корпусі струменеутворювача розташовані виготовлені з нержавіючої сталі напрямні потоку 5, закріплені на шарнірах 10. Напрямні забезпечують плавність потоку та максимальне збільшення швидкості у точці уведення жирової фази. Корпус струменеутворювача виготовлено з прозорого органічного скла для можливості спостереження за процесом. Відстань між направляючими встановлюється за допомогою регулювальних тяг 6. Через шприц 7 жирова фаза по отвору подачі жирової фази із змінним діаметром 12 надходить у камеру де відбувається процес. Готовий продукт зливається у ємність 8.

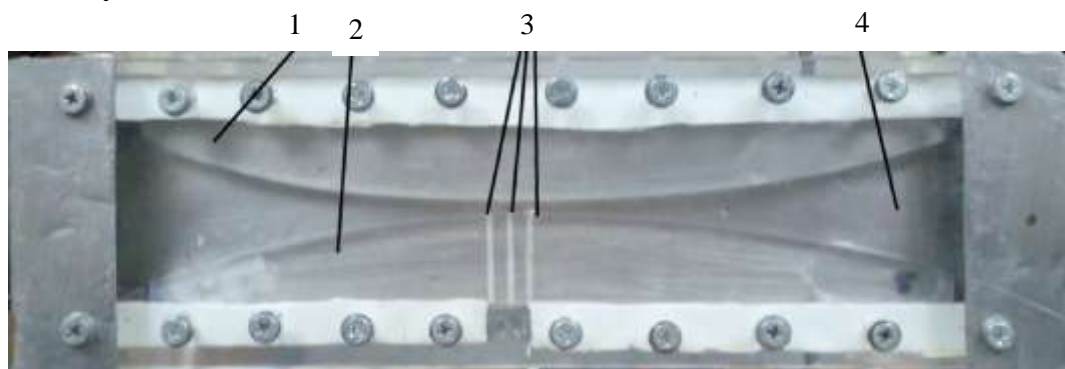


Рисунок 5 – Фото загального виду камери гомогенізації:

1, 2 - напрямні; 3 - отвори для подачі вершків; 4 - кришка.

Крім лабораторної установки струминного гомогенізатора молока з роздільною подачею вершків робоче місце лабораторного заняття оснащується знежиреним молоком і вершками жирністю 20%, секундоміром, мірною ємністю, лінійкою вимірною, оптичним мікроскопом з цифровою веб-камерою, набором покривних скелець, об'єктмікрометром, шприцом медичним 10 мл з голкою діаметром 0,6мм, серветками.

5 Порядок виконання лабораторної роботи

Перед виконанням експерименту студенти за участю викладача встановлюють програму проведення дослідів, вивчають будову і принцип дії лабораторної установки та порядок її налаштування.

5.1 Дослідження впливу тиску на якість та енергетичні витрати процесу струминної гомогенізації молока

5.1.1 Заповнити ємність для молока знежиреним молоком з концентрацією жиру $J_{жн} = 0,05$ %.

5.1.2 Перевірити лінійкою відстань між напрямними камери гомогенізації у місці найбільшого звуження; вона має складати 1мм.

5.1.3 Розрахувати необхідну хвилинну подачу вершків, виходячи з того, що продуктивність установки Q_2 складатиме 1000 кг/год., жирність нормалізованої суміші 3,5%, а жирність вершків 20%.

$$Q_2 = \frac{Q_2 (Ж_{н.с} - Ж_{zn})}{60 (Ж_6 - Ж_{н.с})}$$

5.1.4 Встановити мірну ємність під шланг гомогенізованого молока.

5.1.5 Набрати в шприц необхідну кількість вершків, приєднати голку діаметром 0,6 мм та встановити його у середній канал подавання жирової фази камеру гомогенізації.

5.1.6 Встановити дрослюючий вентиль у перше положення, згідно нанесеної на ньому поділки, що відповідає перекриттю засувки на 25%.

5.1.7 Увімкнути пакетний вимикач і одночасно почати рівномірну подачу вершків до камери гомогенізатора, запустити відлік часу за секундоміром та стежити за показниками тиску диспергування за манометром.

Зібрати гомогенізовану суміш в окрему ємність і підписати її.

5.1.8 Повторити дослід 3 рази; отримані дані продуктивності та надлишкового тиску занести до таблиці 1.

5.1.9 Встановити дрослюючий вентиль у 2 та 3 положення, що відповідають перекриттю засувки на 50 та 75% відповідно та повторити пункти 5.1. – 5.1.8.

Таблиця 1 – Результати дослідів з впливу тиску подачі знежиреного молока на якість та енергетичні витрати струминної гомогенізації.

Положення крана дроселя	Номер досліду	Надлишковий тиск молока, Δp_1 , Па	Продуктивність, Q_2 , кг/год.	Тривалість дослід, с	Розмір жирової кульки, мкм		Енергетичні витрати гомогенізації і кВт·год./т,
					d_k	d_{cp}	
I	1						
	2						
	3						
II	1						
	2						
	3						
III	1						
	2						
	3						

Перевірити отримані дані на наявність грубих похибок.

5.1.10 Відбір проб гомогенізованого молока, підготовка його до аналізу якості обробки, використовуючи спосіб мікрофотографування з подальшим комп'ютерним аналізом отриманих зображень, визначається за методикою, наведеною у вказівках до лабораторної роботи „Установка для протитечійно-струменевої гомогенізації молока“ даного практикуму.

5.2 Вивчення впливу діаметра каналу подавання вершків на якість та енергетичні витрати процесу

5.2.1 Повторити пункти дослідів 5.1.1 – 5.1.4.

5.2.2 Набрати в шприц необхідну кількість вершків, приєднати голку діаметром 0,6 мм та встановити його у середній канал подавання жирової фази камери гомогенізації.

5.2.3 Встановити дроселюючий клапан у положення II, згідно нанесеної на ньому поділки, що відповідає перекриттю засувки на 50 %.

5.2.4 Повторити пункти 5.1.7 – 5.1.8.

5.2.5 При проведенні двох інших серій дослідів, слід встановити у шприц голки діаметром 0,7 та 0,6 мм відповідно.

Таблиця 2 – Результати вимірювань впливу діаметра каналу вершків на якість та енергетичні витрати струминної гомогенізації

Діаметр каналу подавання жирової фази d , мм	Номер дослідів	Надлишковий тиск молока, Δp_1 , Па	Продуктивність, Q_2 , кг/год.	Тривалість дослідів, с	Розмір жирової кульки, мкм		Енергетичні витрати гомогенізації кВт·год./т,
					d_k	d_{cp}	
0,8	1						
	2						
	3						
0,7	1						
	2						
	3						
0,6	1						
	2						
	3						

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 додержуватись правил загальної інструкції з охорони праці, наведених у розділі „Загальні вимоги безпеки“. Під час подачі тиску в канал знежиреного молока звернути увагу на герметичність з'єднань усіх гідравлічних елементів установки.

7 Контрольні питання

1 На якому принципі засновані конструкції для проведення струминної гомогенізації молока?

2 Які теорії гомогенізації вам відомі? Поясніть їх сутність.

3 Розкрийте механізм гомогенізації.

4 За якими показниками оцінюють якість процесу гомогенізації?

5 Що означає термін „ступінь гомогенізації“?

6 Опишіть принцип дії струминного гомогенізатора молока з роздільним подаванням жирової фази.

7 Опишіть механізм, за яким здійснюється зменшення розмірів жирових кульок у струминному гомогенізаторі молока з роздільним подаванням вершків.

8 Чи залежить середній розмір жирових кульок після гомогенізації, від температури, і якщо так, то чому?

9 Чи залежать енергетичні витрати, що витрачаються на диспергування від температури?

10 Чи має місце економічний ефект від використання цієї конструкції гомогенізатора, і, якщо так, то у чому він полягає?

8 Тестові завдання

1) Укажіть, до яких значень досягають енергетичні витрати процесу гомогенізації.

1. 8...10 кВт·год/добу; 2. 8...10 кВт·год/т; 3. 8...10 кВт·год/кг.

2) Який розмір жирових кульок одержують при застосуванні процесу протитечійно-струминної гомогенізації молока?

1. 0,09...0,11 мкм; 2. 0,9...1,1 мкм; 3. 9...11 мкм.

3) Укажіть правильне формулювання гіпотези гомогенізації М.В. Барановського

1. руйнування при рухові емульсії з прискоренням;

2. руйнування здуванням мікрочасток з поверхні жирової кульки;
3. руйнування під впливом дії поздовжнього градієнта швидкості потоку при вході у клапанну щілину.

4) При якому значенні тиску проводять роздільну гомогенізацію молока ?

1. 10...15 Па;
2. 10...15 кПа;
3. 10...15 МПа

5) При якому значенні критерію Вебера зіткнення крапель у струмені супроводжуються вибуховим подрібненням?

1. $We > 20$;
2. $We > 50$;
3. $We < 50$.

Література

1. Фиалкова Е.А. Гомогенизация. Новый взгляд: Монография – справочник / Е.А.Фиалкова - Спб.: ГИОРД, 2006. - 392 с.
2. Самойчук К.О. Розробка лабораторного зразка струминного гомогенізатора з роздільною подачею вершків/ К.О.Самойчук, О.О.Ковальов // Праці ТДАТУ - Мелітополь: 2011. - 77-84с.
3. Абрамович Г.Н. Теория турбулентных струй/Г.Н. Абрамович. - Эколит - М: 2011 – 728с.
4. Самойчук К.О. Якість та енергетична ефективність процесу струминної гомогенізації молока з роздільною подачею вершків / К.О.Самойчук, О.О.Ковальов, В.О.Султанова // Праці ТДАТУ - Мелітополь: 2015. - Вип 15. - Том1.С 241 - 249.
5. Дейниченко Г.В. Протитечійно-струминна гомогенізація молока: Монографія. / Г.В. Дейниченко, К.О. Самойчук, С.В. Кюрчев та ін. - Мелітополь, Видавничий будинок Мелітопольської міської друкарні, 2017. - 200 с.