

УДК 637.134

ДОСЛІДЖЕННЯ ДІАМЕТРУ КАНАЛУ ПОДАВАННЯ ВЕРШКІВ СТРУМИННОГО ГОМОГЕНІЗАТОРА МОЛОКА

Дейниченко Г.В., д.т.н., *

Самойчук К.О., к.т.н.,

Ковальов О.О., інженер,**

Пацький І.Ю., інженер

Таврійський державний агротехнологічний університет

Тел. (06192) 42-13-06

Анотація – в статті наведені дані аналітичних та експериментальних досліджень діаметру каналу подавання жирової фази в струминному гомогенізаторі молока з роздільним подаванням жирової фази.

Ключові слова – роздільна гомогенізація, аналітичні дослідження, жирова кулька, струминний гомогенізатор, канал подавання вершків.

Постановка проблеми. Гомогенізація молока являє собою один з процесів, що використовується при виробництві більшості продуктів молокопереробної галузі. Але дана операція відрізняється декількома специфічними ознаками, серед яких високі енерговитрати процесу, що складають в середньому 12кВт/т для конструкції клапанного гомогенізатору який є найбільш поширеним та забезпечує найкращий ступінь гомогенізації. З іншого боку незважаючи на досить тривалу історію використання операції в технологічних процесах галузі, вчені досі не запропонували загальної теорії процесу. Існує понад 6 гіпотез, кожна з яких претендує на роль теорії, але жодна з них не здатна вичерпно пояснити механізми за якими відбувається подрібнення жирових кульок [1]. Існуючі гіпотези являють собою підґрунття для виготовлення конструкцій на базі відповідних принципів. Однак, технічна реалізація цих конструкцій виявила такі їх недоліки як високі енергетичні витрати при досягненні меж досконалості конструкції, низьке енергозбереження та недостатню дисперсність жирових кульок після проведення гомогенізації.

Аналіз останніх досліджень. Теоретичні дослідження процесу гомогенізації та відомих гіпотез дозволили припустити, що визначальну роль в процесі подрібнення часток жиру відіграє різниця швидкостей дисперсійної та дисперсної фаз продукту. Гіпотеза

© Дейниченко Г.В., д.т.н., Самойчук К.О., к.т.н., Ковальов О.О., інженер, Пацький І.Ю., інженер

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

**Науковий керівник – к.т.н., доцент Самойчук К.О.

знайшла втілення в конструкції дослідного пристрою для проведення струминної гомогенізації молока з роздільним подаванням жирової фази виготовленого на базі кафедри ОПХВ ТДАТУ [2].

Пристрій, зображений на рис.1 складається з електричного двигуна 4, насосу 2 для подавання знежиреного молока НШ-10, патрубків з'єднання 5, ємності для знежиреного молока 6, ємності з насосом для подачі вершків 1; блоку керування подачею вершків 3, двох вимикачів 8 та камери гомогенізації 7.

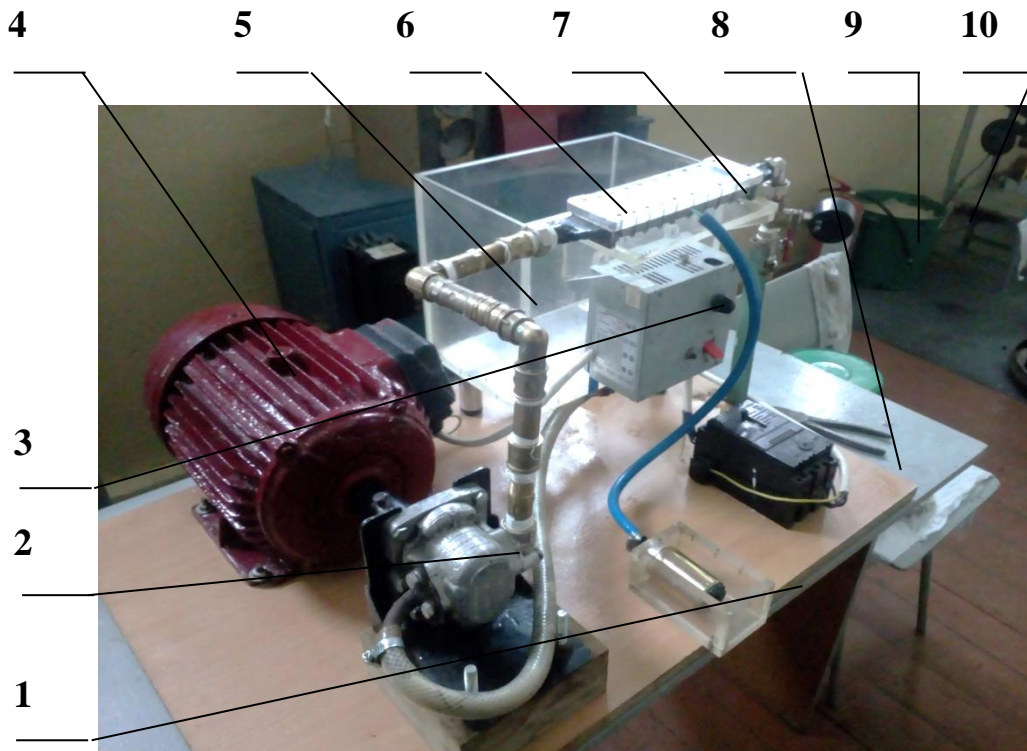


Рис. 1. Конструкція експериментального устаткування струминного гомогенізатору молока

1 – ємність з насосом для подачі вершків; 2 – насос типу НШ-10 для подавання знежиреного молока; 3 – блок керування насосом подачі вершків; 4 – електричний двигун; 5 – з'єднувальні патрубки; 6 – ємність для знежиреного молока; 7 – камера гомогенізації; 8 – пакетний вимикач; 9 – дроселюючий вентиль; 10 – манометр.

Процес відбувається в камері гомогенізації, де до технологічно передбаченого місця найбільшого звуження центрального каналу камери **a** по вузькому каналу **d** подається тонкий струмінь вершків (рисунок 2). При такому типі подавання жирової фази, швидкість вершків буде мати найбільшу різницю відносно швидкості руху знежиреного молока, при цьому швидкість знежиреного молока v_m сягає максимальних значень [3].

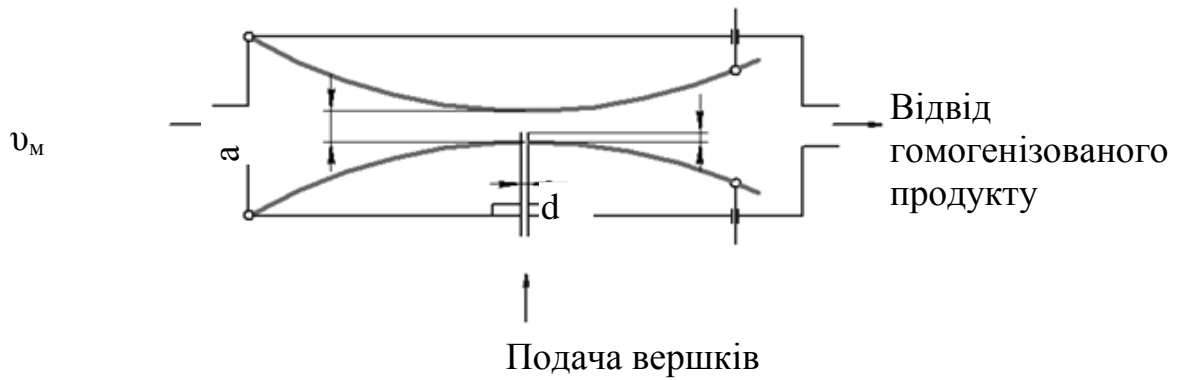


Рис. 2. Схема струминного гомогенізатора молока з роздільною подачею вершків.

Молоко подається крізь патрубок подачі знежиреного молока 1, в якому дві направляючі виготовлені з органічного скла 2 формують ділянку найбільшого звуження центрального каналу. В цій точці до молока, що має велику швидкість по одному з тонких каналів 3 в необхідному співвідношенні подаються вершки. Оброблений продукт відводиться крізь патрубок відводу гомогенізованого молока 5. Завдяки реалізації такого конструктивного рішення (рисунок 3) забезпечується максимальна різниця швидкостей між включеною до руху потоку жировою кулькою та знежиреним молоком, що є основою ефективного подрібнення жирових часток.

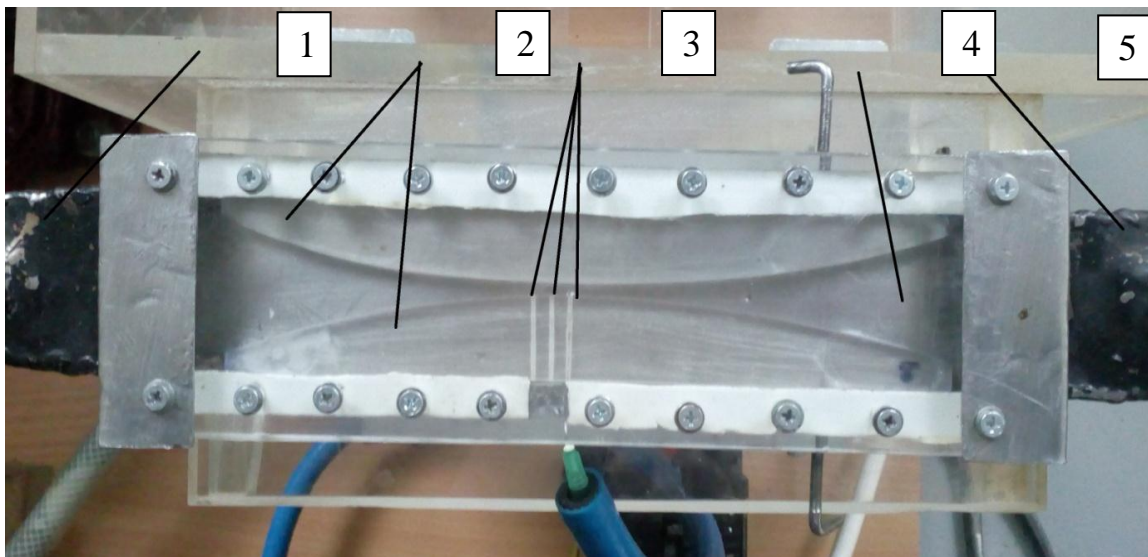


Рис. 3. Схема струминного гомогенізатора молока з роздільною подачею вершків

1 – патрубок подачі знежиреного молока; 2 – направляючі; 3 – канали подачі вершків; 4 – кришка; 5 – патрубок відводу гомогенізованого молока.

Розміри каналу подавання вершків та місце його розташування обумовлюють кінцеву величину жирових кульок. Проведені теоретичні дослідження свідчать про збільшення ступеню подрібнення дисперсної фази при зменшенні діаметру каналу. Однак, при цьому важливо забезпечити технологічно обумовлену продуктивність. Для цього, можуть передбачатись декілька каналів мінімально можливого розміру.

Формування цілей статті (постановка завдання). Метою статті є дослідження впливу діаметру подавання вершків у струминному гомогенізаторі молока з роздільним подаванням дисперсійної та дисперсної фаз на розмір жирових кульок після гомогенізації. Для реалізації цієї мети необхідно:

- розробити лабораторний зразок струминного гомогенізатору;
- визначити сталі та змінні фактори процесу;
- розробити методики проведення дослідження;
- за допомогою аналітичних розрахунків встановити зв'язок між середнім розміром жирових кульок після гомогенізації та розміром каналу подавання вершків;
- провести дослідження впливу різних розмірах каналу подавання вершків та тиску подавання знежиреного молока на показники якості продукту.

Основна частина. Серед змінних факторів процесу були виділені діаметр центрального каналу в місці найбільшого звуження, жирність вершків, діаметр каналу подавання вершків та тиск подавання знежиреного молока.

За результатами аналітичних досліджень процесу, діаметр каналу подавання вершків повинен знаходитись в межах 0,6 – 0,8мм. З одного боку, цей показник має прагнути мінімально можливих значень, оскільки в такому випадку подача вершків відбуватиметься тонким струменем, що в свою чергу дозволить потоку знежиреного молока здійснювати рівномірний вплив на всю глибину струменю. З іншого боку, виготовлення каналу з надто малим діаметром, меншим за 0,6мм може призводити до явища облітерації внутрішніх поверхонь каналів [4]. Надто вузький діаметр каналу не дозволить забезпечити потрібну продуктивність установки, що знаходиться на рівні 1800кг/год.

Обрані фактори в процесі проведення досліджень змінювались на трьох рівнях зміни фактора, кожен дослід виконувався в трьох повторностях. При проведенні дослідження процесу струминної гомогенізації молока з роздільним подаванням жирової фази відбувалась фіксація декількох показників. Температура знежиреного молока та вершків складала 60°C. Вершки подавались у місці найбільшого звуження зі швидкістю, що дозволяє забезпечити

жирність молока на рівні 3,5%, розрахованим з рівняння матеріального балансу.

Величина центрального каналу в місці найбільшого звуження дорівнювала 2мм; це значення оптимального розміру каналу було визначено в процесі проведення аналітичних досліджень процесу гомогенізації. Величина діаметру каналу подавання вершків складала 0,6; 0,7 та 0,8 мм; тиску подавання знежиреного молока відповідно 1, 3 та 5МПа. Після отримання дослідних даних виконувалась їх перевірка на наявність грубих похибок дослідження.

Після проведення кожного досліду здійснювалось перемішування продукту та відбір зразку. Після цього зразок розводився з водою у співвідношенні 1:10, ретельно перемішувався, наносився на предметне скло та відстоювався на протязі 15хв накритий покривним склом. Крапля гомогенізованого молока досліджувалась на мікроскопі з приєднаною цифровою камерою (рисунок. 4). Роздільна здатність мікроскопу складає 1500 крат, при проведенні дослідів виходячи з умов отримання чіткого поля зору використовувалось збільшення до 600 разів. Під час вивчення кожного зразку при переміщенні та знаходженні характерного виду робились фотографії даного поля зору. Окремо в однаковому збільшенні було зроблено фотографію лінійки об'єктмікрометра типу ОМП (ГОСТ 7513-55 з ціною поділки 0,01мм). Після отримання результатів дослідів по мікрофотографіях робився підрахунок кількості жирових кульок кожного розміру.

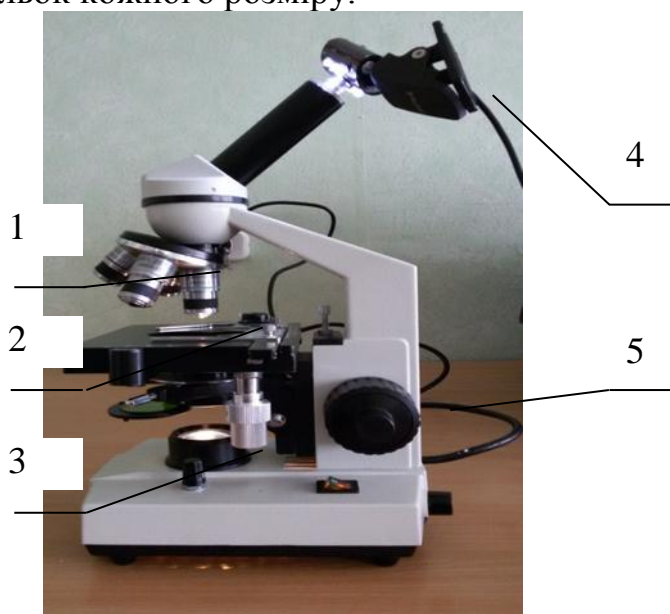


Рис. 4. Зовнішній вигляд мікроскопу з цифровою камерою
1 – об'єктив; 2 – предметний стіл із досліджуванним зразком;
3 – підсвічувальна лампа; 4 – цифрова камера; 5 – гвинт грубого регулювання.

На етапі проектування дослідного зразку струминного гомогенізатору молока теоретично було обґрунтовано діапазон можливих значень каналу подавання жирової фази, що знаходиться в межах 0,5 – 0,8 мм. Такі значення параметру є достатніми для забезпечення необхідної продуктивності, їх збільшення сприятиме посиленню опору потоку, що негативно відбиватиметься на показниках якості продукту [5]. З метою забезпечення більшої продуктивності устаткування рекомендовано виготовлення установки, що містить декілька каналів подавання вершків у відповідності з потрібною кількістю вершків, визначеною з рівняння матеріального балансу. При цьому розмір кожного з таких каналів має прагнути мінімально можливих значень, виходячи з умови запобігання облітерації каналів.

Подрібнення жирових кульок спричинюють тангенційні напруження, що виникають при досягненні критичного значення числа Вебера. Формула критерія Вебера для струминної гомогенізації We^c

$$We^c = \frac{\rho_{пл} \cdot u^2 \cdot D_{max}}{\sigma_{ж-п}}, \quad (1)$$

де u – швидкість ковзання жирової кульки відносно молочної плазми, м/с;

$\rho_{пл}$ – густина плазми молока, кг/м³;

D_{max} – максимальний діаметр краплі, стійкої у даному потоці, м;

$\sigma_{ж-п}$ – поверхневий натяг на границі жир-плазма, Н/м.

При подаванні дисперсної фази перпендикулярно потоку знежиреного молока швидкість ковзання буде дорівнювати

$$u = \sqrt{k_c} v, \quad (2)$$

де v – швидкість потоку знежиреного молока у місці подавання жирової фази, м/с;

k_c – коефіцієнт струминної гомогенізації з поперечним подаванням жирової фази.

Коефіцієнт k_c враховує:

- жирність вершків, які подаються в гомогенізатор;
- діаметр каналу подачі вершків;
- подачу вершків в гомогенізатор $Q_{ж}$, тобто:

$$k_c = k_{mc} k_d k_Q, \quad (3)$$

де k_{mc} – коефіцієнт, що враховує жирність вершків;

k_d – коефіцієнт, що враховує діаметр каналу подачі вершків;

k_Q – коефіцієнт, що враховує подачу вершків.

З урахуванням останнього виразу (2) формулу (1) можна представити у вигляді

$$We^c = \frac{\rho_{nl} \cdot k_c v^2 \cdot D_{max}}{\sigma_{ж-н}}. \quad (4)$$

Швидкість v пов'язана з надлишковим тиском Δp

$$v = \varphi \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho_{nl}}}, \quad (5)$$

де φ – коефіцієнт швидкості звуження камери;

ρ_{nl} – густина плазми, кг/м³.

Враховуючи статистичне розподілення розмірів жирових кульок у молоці [6]

$$D_{max} = 2d_{cp}, \quad (6)$$

де d_{cp} – середній діаметр жирових кульок молока, м.

З урахуванням формул (4) і (5) формула критерія Вебера для струминної гомогенізації буде мати вигляд

$$We^c = \frac{4k_c \varphi^2 d_{cp} \Delta p}{\sigma_{ж-н}}. \quad (7)$$

Середній розмір жирових кульок після гомогенізації можна визначити через критичне значення критерію Вебера

$$d_{cp} = \frac{We_k^c \sigma_{ж-н}}{4k_c \varphi^2 \Delta p}, \quad (8)$$

де We_k^c – критичне значення критерію Вебера для струминної гомогенізації з роздільним подаванням жирової фази.

Або з урахуванням (3)

$$d_{cp} = \frac{We_k^c \sigma_{ж-н}}{4k_{mc} k_d k_Q \varphi^2 \Delta p}. \quad (9)$$

Отримані залежності дозволять визначити в процесі проведення дослідів коефіцієнт, що враховує діаметр каналу подачі вершків, що входить до складу коефіцієнту струминної гомогенізації з поперечним подаванням жирової фази.

Проведені аналітичні дослідження процесу струминної гомогенізації молока з роздільним подаванням жирової фази, зокрема

моделювання процесу, свідчать про необхідність зменшення діаметру каналу подавання вершків при одночасному підвищенні тиску подачі знежиреного молока [3,4]. Такі умови будуть забезпечувати найвищий ступінь подрібнення жирових кульок. Збільшення розмірів отвору подавання жирової фази за однакової продуктивності сприятиме збільшенню енергетичних витрат, завдяки забезпеченню більшого тиску подавання знежиреного молока [7].

Дослідження залежності між надлишковим тиском і діаметром центрального каналу подачі жирової фази d на середній діаметр жирових кульок проводились при відстані між направляючими $a = 2$ мм. Отримані дані наведені на рисунку 5.

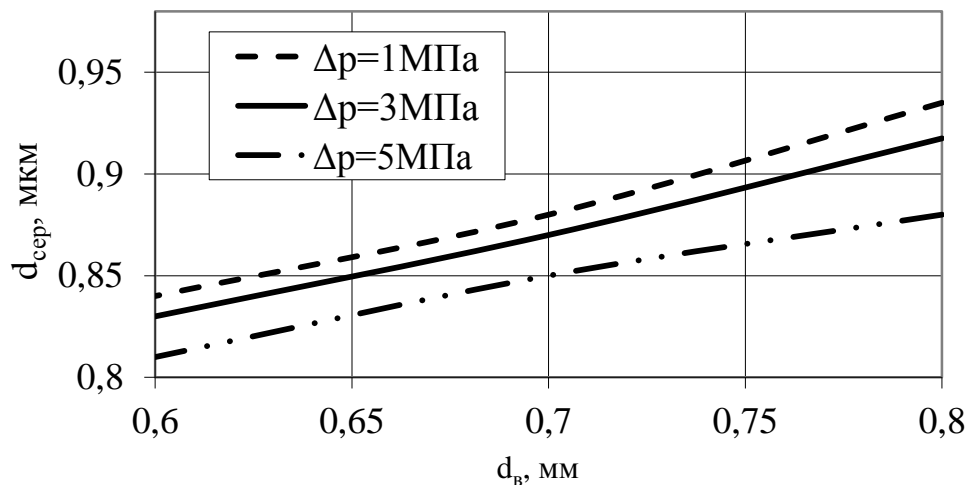
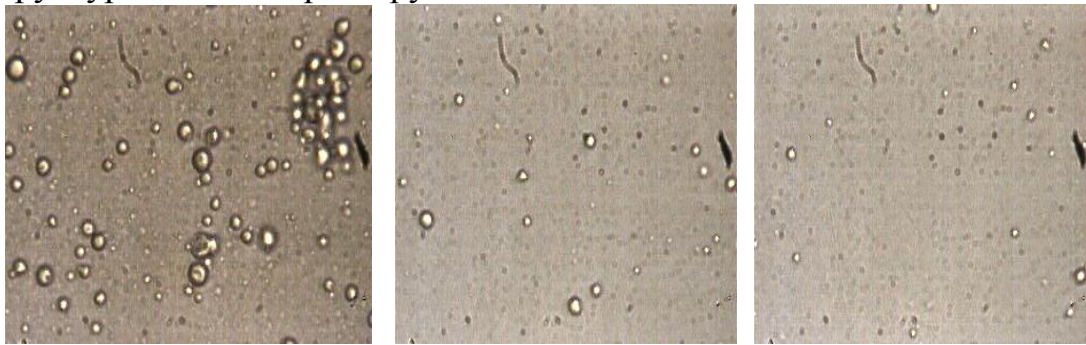


Рис. 5. Графік залежності впливу надлишкового тиску Δp і діаметру центрального каналу подачі жирової фази $d_в$ на середній діаметр жирових кульок $d_{ср}$ при відстані між направляючими $a = 2$ мм.

Аналіз отриманих результатів свідчить про суттєве зменшення розміру жирових кульок при зміні розмірів каналу подавання вершків з діаметру 0,8 мм на 0,6, якість подрібнення збільшилась на 12%. В абсолютних величинах розмір жирових кульок зменшився з 0,94 до 0,84 мкм при меншому діаметрі каналу подавання вершків та тиску знежиреного молока 2 МПа. Використання каналу діаметром 0,7 мм призводить до поступового зменшення розміру часток до 0,85 мкм при 5 МПа, однак порівняно з 0,6 мм відбувається розсіювання зони локалізації максимальної різниці швидкостей фаз, що призводить до незначного зменшення середнього розміру жирових кульок. Отримані дані загалом підтверджують залежності, отримані при моделюванні процесу диспергування жирової фази, що проводились при діаметрах каналу подавання вершків 0,6 та 0,8 мм. Можливість подальшого зменшення діаметру каналу подавання жирової фази обмежена можливістю виникнення облітерації каналів та потребує додаткових досліджень.

Отримані мікрофотографії, наведені на рисунку 6, наочно свідчать про 2,5–4 кратне зменшення середніх розмірів жирових

кульок при подрібненні скупчень жирових агломерацій на окремі структури меншого розміру.



а)

б)

в)

Рис. 6. а) негомогенізоване молоко; б) зразок молока після струминної гомогенізації при збільшенні у 600 разів $d = 1,0$ мкм; в) зразок молока після струминної гомогенізації з роздільним поданням жирової фази при збільшенні у 600 разів $d = 0,9$ мкм.

На підставі даних, було побудовано гістограму розподілу значень, яка представлена на рисунку 7.

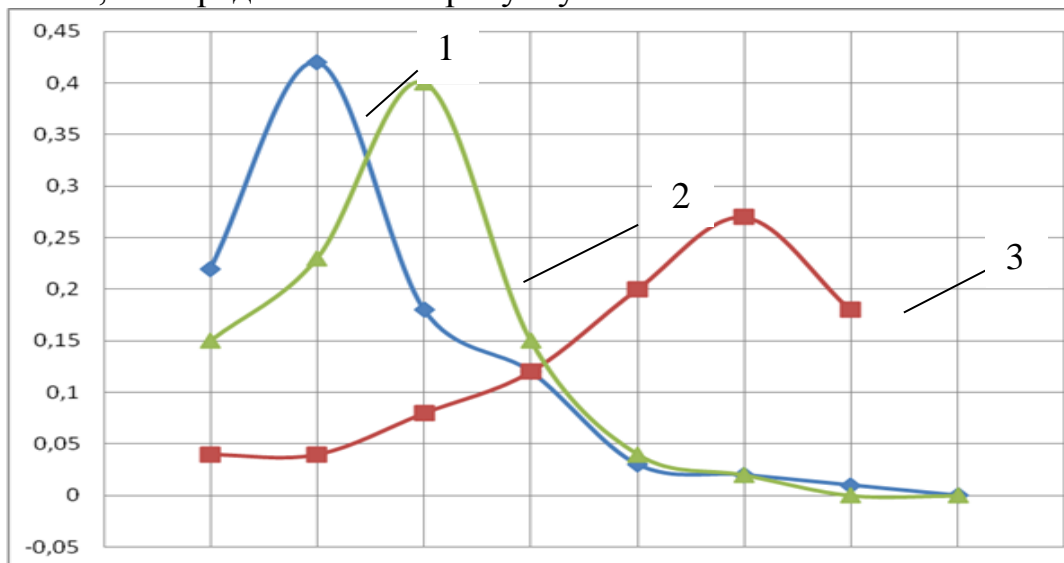


Рис. 7. Диференційні розподілення жирових кульок: 1 – після струминної гомогенізації з роздільним поданням жирової фази; 2 – після струминної гомогенізації; 3 – необробленого молока.

Отримані показники свідчать про збільшення рівномірності розподілу жирових кульок при зменшенні середнього діаметру кульок. Крім того, гістограма показує кращі показники середнього розміру часток та рівномірності розподілу порівняно з протитечійно-струминною гомогенізацією молока, яка досліджена і являє собою кращий зразок гомогенізаторів струминного типу [6].

Висновки. В статті було досліджено вплив діаметру каналу подавання вершків на показники якості продукту. З цією метою було розроблено та виготовлене лабораторне устаткування для дослідження процесу струминної гомогенізації молока з роздільною подачею вершків. Розроблена методика проведення досліджень та визначені сталі та змінні фактори процесу з діапазонами варіювання їх значень. Проведені теоретичні дослідження впливу зменшення розміру каналу подавання жирової фази на середній розмір кульок після гомогенізації, які дозволили отримати залежність, що пов'язує середній розмір жирових кульок після гомогенізації та діаметр каналу подавання вершків. Виконані експериментальні дослідження впливу тиску знежиреного молока та діаметру каналу подавання вершків на середній розмір жирових кульок. Отримані дані свідчать про істотне зменшення середнього діаметру дисперсної фази, яке при зменшенні розміру каналу з 0,8 до 0,6 мм складає понад 10%. Значення цього показнику на рівні 0,7мм виявило меншу ефективність подрібнення, що обумовлено гіршим впливом потоку на струмінь вершків більшого діаметру. Подальші дослідження будуть направлені на визначення коефіцієнту струминної гомогенізації з поперечним подаванням жирової фази. Для цього планується провести дослідження впливу жирності та подачі вершків на середній розмір жирових кульок.

Література:

1. *Фиалкова Е.А.* Гомогенизация. Новый взгляд: Монография–справочник могоенізації з роздільним подаванням жирової фази./ Е.А.Фиалкова – Спб.: ГИОРД, 2006. – 392с
2. *Самойчук К.О.* Розробка лабораторного зразка струминного гомогенізатору з роздільною подачею вершків/ К.О.Самойчук, О.О.Ковальов. Праці ТДАТУ – Мелітополь: 2011 – 77-84с
3. *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. – Том 1.С 241 – 249.
4. *Самойчук К.О.* Використання нормалізації у струминному гомогенізаторі молока з роздільною подачею вершків / К.О. Самойчук, О.О. Ковальов// Праці ТДАТУ.: Мелітополь – 2014. – Вип.14, Т.1. – С. 37-45.
5. *Веремеев С.А.* Взаимодействие импульсной затопленной струи жидкости с преградой / С.А. Веремеев, А.Н. Семко // Прикладна гідромеханіка. – 2008. – Т. 10, № 1. – С. 3 – 9.
6. *Самойчук К.О.* Обгрунтування параметрів та режимів роботи протитечійно - струменевого диспергатора молока: автореф дис. ... канд. техн. наук : 05.18.12 // – Донецьк, 2008, – 20с.
7. *Матвиенко О.В.* Математическое моделирование турбулентного переноса дисперсной фазы в турбулентном потоке /

О.В. Матвиенко, Е.В. Евтюшкин // Вестник ТГПУ, 2004. Вып. 6, С. 50 – 53.

ИССЛЕДОВАНИЯ ДИАМЕТРА КАНАЛА ПОДАЧИ СЛИВОК СТРУЙНОГО ГОМОГЕНИЗАТОРА МОЛОКА

Дейниченко Г.В., Самойчук К.О., Ковалев А.А.

Аннотация – в статье приведены данные, полученные в результате экспериментальных и аналитических исследований диаметра канала подачи сливок в струйном гомогенизаторе молока с отдельной подачей жировой фазы.

STUDY OF THE DIAMETER OF THE FLOW CHANNEL OF THE JET HOMOGENIZER CREAM MILK

G. Deinichenko, K. Samoichuk, A. Kovalyov

Summary

The article presents the data obtained in the analytical and experimental studies of the diameter of the flow channel of cream in the jet homogenizer milk, separate submission of a fatty phase.