

ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

УДК 637.134.001.5

**АНАЛІТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ
ПОКАЗНИКІВ І ПАРАМЕТРІВ ЯКОСТІ СТРУМИННО-
ЩІЛЬОВОГО ГОМОГЕНІЗАТОРА МОЛОКА**

Самойчук К. О., д.т.н.,

Ковальов О. О, аспірант, *

Борохов І. В., к.т.н.,

Паляничка Н. О., к.т.н.

*Таврійський державний агротехнологічний університет**Тел. (0619) 42-13-06*

Анотація – у статті відображені результати аналітичних досліджень процесу диспергування в струминно–щільовому гомогенізаторі молока. Представлено вираз, який пов’язує середній діаметр жирових кульок після диспергування з факторами, що впливають на його величину. Зроблено аналіз раціональних значень параметрів гомогенізатора, що впливають на середній діаметр жирових кульок після диспергування. Розроблено формулу для визначення енергетичних витрат при проведенні гомогенізації та нормалізації, розглянуто вплив кожного з факторів на показники енергетичних витрат при проведенні диспергування. Проведено аналіз та визначено оптимальні значення величин, які впливають на енергетичні витрати процесу.

Ключові слова – струминно-щілинний, гомогенізатор, молоко, форма камери, енергетичні витрати, середній діаметр, жирова кулька

Постановка проблеми. Для забезпечення високого попиту на продукцію молокопереробної галузі, виробники повинні постачати на ринок товари високої якості по більш дешевій, порівняно з конкурентами ціні. Однією з операцій, що суттєво впливає на енергетичні витрати, а отже має резерв для зниження собівартості одиниці продукції є гомогенізація. Її проведення забезпечує 3-4 кратне зменшення середнього розміру жирових кульок при забезпеченні рівномірного розподілу часток дисперсної фази в об’ємі плазми молока [1]. При цьому завдяки зростанню загальної поверхні часток

© Самойчук К. О., Ковальов О. О., Борохов І. В., Паляничка Н. О.

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

DOI: 10.31388/2078-0877-19-1-3-18

забезпечується покращення смакових, сенсорних якостей, досягається збільшення міри засвоюваності, терміну придатності продукту та його втрат з тарою.

Характерною відзнакою процесу є високі значення витрат енергії, що спостерігаються при використанні найбільш поширених в промисловості конструкцій клапанних гомогенізаторів. При його роботі забезпечується зменшення середнього розміру жирових кульок до 0,8–1,2 мкм, що знаходиться на рівні значень, обумовлених вимогами нормативної технологічної документації. Однак при цьому використання таких конструкцій має енергетичні витрати, що сягають понад 8 кВт·год/т гомогенізованого молока [1].

Аналіз останніх досліджень. Протягом тривалої історії використання операції дослідниками неодноразово робились спроби запропонувати енергоефективний пристрій для диспергування. Аналітичні дослідження дозволили вченим запропонувати близько 5–7 гіпотез процесу, що претендують на роль загальної теорії диспергування. Однак жодна з них повною мірою не відображає сутність процесів, що відбувається в зоні щілини клапанного гомогенізатора при роботі. Складність дослідження процесу полягає в мікроскопічному розмірі жирових кульок, що складає менше 1 мкм та високих швидкостях руху молока, що сягають 100–200 м/с [2].

Дослідження нових напрямів розвитку енергоефективних конструкцій диспергаторів дозволив виділити в якості перспективних використання малодосліджених конструкцій струминних гомогенізаторів молока [3]. Принцип їх дії засновано на створенні максимальної різниці між швидкостями руху знежиреного молока та вершків. Конструкція щілинно–струминного гомогенізатора молока є логічним розвитком теоретичних основ диспергування, яка передбачає усунення недоліків пристрою струминного гомогенізатора молока з роздільною подачею вершків [4]. Лабораторний зразок струминно–щілинного гомогенізатора молока (рис. 1) був розроблений на базі кафедри ОПХВ імені професора Ф.Ю. Ялпачика ТДАТУ.

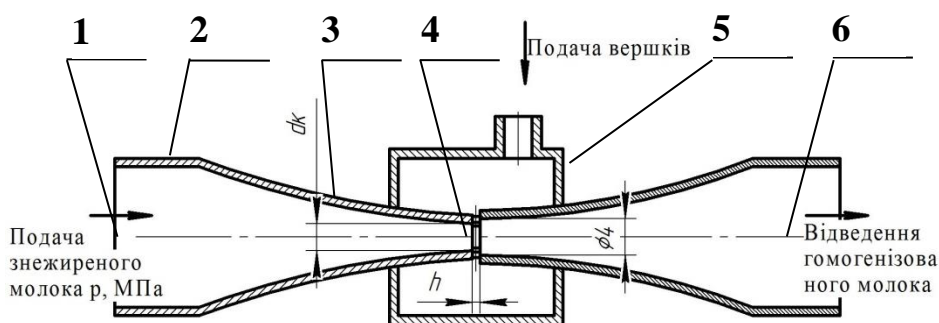


Рис. 1. Схема струминно–щілинного гомогенізатора молока

Конструкція струминно-щілинного гомогенізатора молока складається з камери 2, до якої попередньо знежирене молоко під тиском подається крізь патрубок 1. У місці найбільшого звуження 4, розміром d_k , яке утворюють виготовлюючи направляючі потоку 3, що мають форму коноїду з ємності з вершками 5 крізь щілину шириною h подається необхідна кількість вершків, розрахована з рівняння матеріального балансу. Таким чином використання струминного гомогенізатора молока щілинного типу дозволяє одночасно проводити диспергування та нормалізацію. Гомогенізоване молоко відводиться крізь патрубок 6.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Для дослідження раціональних параметрів струминно-щілинного гомогенізатора молока необхідно аналітичним шляхом проаналізувати основні залежності конструктивних, гідравлічних та технологічних показників, що впливають на середній розмір жирових кульок після диспергування та енергетичні витрати процесу. Тому мета даної статті полягає в аналітичному визначенні характеру залежності між основними показниками струминно-щілинного гомогенізатора молока в їх зв'язку з середнім розміром жирових кульок після диспергування та енергетичними витратами процесу.

Основна частина. Максимальну різницю швидкостей фаз можна створити при подаванні дисперсної фази перпендикулярно до потоку знежиреного молока. В цьому випадку швидкість ковзання жирової кульки буде дорівнювати

$$u = k_{щ} v_{zn}, \quad (1)$$

де v_{zn} – швидкість потоку знежиреного молока в місці подавання жирової фази, м/с;

$k_{щ} = k_{щжс} k_{щв} k_{щн}$ – коефіцієнт струминно-щілинної гомогенізації, де $k_{щжс}, k_{щв}, k_{щн}$ – коефіцієнти щілинної гомогенізації з поперечним подаванням жирової фази, що враховують відповідно вплив жирності, швидкості вершків та ширини каналу в місці подачі вершків.

Для підвищення v_{zn} необхідно збільшити надлишковий тиск подачі знежиреного молока. Водночас необхідно зменшити швидкість жирової кульки перед включенням її до потоку знежиреного молока, що зменшить прискорення частки та збільшить сили інерції. Для цього по перше необхідно використовувати щілину, ширина якої повинна мати мінімальні значення за умови забезпечення необхідної продуктивності. По друге, жирова фаза має подаватись до потоку в місці максимального звуження, що відрізняється найбільшою швидкістю потоку i , отже, являє собою місце найбільшої різниці швидкостей фаз продукту.

Для руйнування жирових кульок необхідно досягнення значення критерію Вебера We''' рівного (або більшого) за критичне We_k

$$We''' = \frac{2\rho_{пл} \cdot k_{ш}^2 \cdot v_{зн}^2 \cdot d_{ср}}{\sigma_{жс-п}} \geq We_k, \quad (2)$$

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

$d_{ср}$ – середній діаметр жирової кульки після гомогенізації, мкм;

$\sigma_{жс-п}$ – поверхневий натяг на межі розділу жиру та плазми, Н/м.

Критичні значення чисел Вебера для руйнування крапель в потоці повітря визначені експериментально $We_k \geq 8-12$. Однак для руйнування жирових кульок в потоці знежиреного молока, його значення буде вище, враховуючи більшу залученість до потоку сусідніх шарів плазми. Найближчим за механізмом гомогенізації до дослідної є диспергування, що відбувається в струминному гомогенізаторі молока з роздільною подачею вершків, для якого експериментально підтвержені значення We_k складають 28 [5]. Для розрахунків приймемо значення $We_k = 28$.

З виразу (2) отримаємо середній діаметр жирової кульки після гомогенізації

$$d_{ср} = \frac{We_k \cdot \sigma_{жс-п}}{2\rho_{пл} \cdot k_{ш}^2 \cdot v_{зн}^2}. \quad (3)$$

Проведемо аналіз отриманої залежності та представимо дані у вигляді графіку (рис. 2)

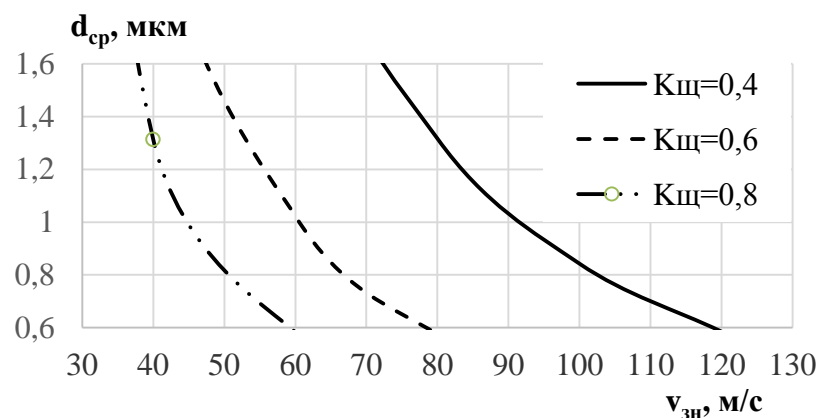


Рис. 2. Графік залежності середнього діаметра жирових кульок $d_{ср}$ від швидкості знежиреного молока $v_{зн}$ і коефіцієнту струминно-щілинної гомогенізації $k_{ш}$ (при $We_k=28$, $\sigma=0,1$)

Залежність, представлена на графіку свідчить, що при підвищенні $k_{\text{ш}}$ необхідна швидкість знежиреного молока при однаковому середньому розмірі жирових кульок знижується, що зменшує енергетичні витрати на проведення диспергування. Аналіз залежності (рис. 2) свідчить, що забезпечити зменшення середнього розміру жирових кульок до технологічно обумовлених значень можливо при $k_{\text{ш}}=0,4$ при швидкості подачі знежиреного молока, що знаходиться в діапазоні 84–107 м/с. При підвищенні коефіцієнту струминно–щілинної гомогенізації до $k_{\text{ш}}=0,8$ забезпечити ефективне подрібнення можливо при швидкості подачі, що знаходиться в діапазоні 41–50 м/с.

Швидкість дисперсійної фази можна визначити з подачі знежиреного молока $Q_{\text{зн}}$ і розмірів камери гомогенізатора

$$v_{\text{зн}} = \frac{Q_{\text{зн}}}{\varepsilon_{\text{к}} \cdot S}, \quad (4)$$

$\varepsilon_{\text{к}}$ – коефіцієнт стиснення для центральної частини камери, який залежить від форми камери та дорівнює 1 для внутрішніх поверхонь, що мають циліндричну та коноїдальну форму та 0,98 для камери з конічною формою;

S – площа перетину камери струминно–щільового диспергатора в місці найбільшого звуження, м².

$$S = \frac{\pi \cdot d_{\text{к}}^2}{4}, \quad (5)$$

де $d_{\text{к}}$ – внутрішній діаметр камери щілинного гомогенізатора в місці найбільшого звуження, м.

За урахуванням (5) формула (3) приймає вигляд

$$d_{\text{ш}} = \frac{We_{\hat{e}} \cdot \sigma_{\omega-\hat{r}} \cdot \varepsilon_{\hat{e}}^2 \cdot \pi^2 \cdot d_{\hat{e}}^4}{32 \cdot \rho_{\hat{r}\hat{e}} \cdot k_{\hat{u}}^2 \cdot Q_{\hat{c}}^2}, \quad (6)$$

Отримана залежність (6), пов'язує технологічні, конструктивні та гідравлічні параметри, зокрема середній діаметр жирових кульок, продуктивність, коефіцієнт струминно–щілинної гомогенізації та діаметр камери в місці найбільшого звуження.

Отже для підвищення дисперсності жирової фази при гомогенізації молока в струминно–щілинному гомогенізаторі молока (зменшення $d_{\text{ш}}$) необхідно виконання умов

$$\begin{aligned} (We_{\hat{e}}, \sigma_{\omega-\hat{r}}, \varepsilon_{\hat{e}}, d_{\hat{e}}) &\rightarrow \min; \\ (k_{\hat{c}}, Q_{\hat{c}}) &\rightarrow \max. \end{aligned}, \quad (7)$$

Згідно з останнім виразом для забезпечення зменшення середнього розміру жирових кульок до технологічно обумовлених величин камера струминно–щілинного гомогенізатора молока повинна мати конічну форму внутрішніх поверхонь.

Аналіз залежності (6) свідчить, що для забезпечення продуктивності на рівні промислових гомогенізаторів при середньому розмірі жирових кульок, що дорівнює 0,8–1,2 мкм, при $We_k=28$, $k_{ш}=0,6$ та продуктивності гомогенізатора 620–820 л/год, діаметр камери в місці найбільшого звуження має знаходитись в діапазоні 2–2,5 мм.

Знизити поверхневий натяг на границі жир-плазма $\sigma_{ж-п}$ можливо за рахунок підвищення температури гомогенізації та шляхом використання емульгаторів;

Підвищити значення коефіцієнта струминно–щілинної гомогенізації $k_{ш}$ можливо за рахунок оптимізації ширини щілини в місці найбільшого звуження, вмісту жиру в вершках і швидкості потоку вершків.

Для струминного щілинного гомогенізатора подача Q_2 визначається сумою подачі знежиреного молока $Q_{зн}$ та вершків $Q_в$

$$Q_2 = Q_в + Q_{зн}. \quad (8)$$

Значення подачі знежиреного молока та вершків при використанні насосів об'ємної дії буде дорівнювати подачі відповідних насосів.

Жирову фазу, що подається через кільцеву щілину в місці найбільшого звуження будемо розглядати як відкриту для зовнішніх впливів систему рухомих та взаємодіючих жирових крапель та суцільного середовища. Швидкість жирової фази при входженні у струмінь знежиреного молока визначимо як

$$v_в = \frac{Q_в}{S_в} = \frac{Q_в}{\pi \cdot d_k \cdot h}. \quad (9)$$

де h – відстань у щілині в місці найбільшого звуження, мм.

Конструкція струминного гомогенізатора щілинного типу забезпечує можливість здійснення нормалізації молока за жирністю, що досягається регулюванням співвідношення подачі знежиреного молока та вершків. В разі використання функції нормалізації подачі вершків та знежиреного молока пов'язані з необхідною жирністю нормалізованого продукту співвідношенням [6]

$$\frac{Q_{н.м}}{Ж_г - Ж_{зн}} = \frac{Q_г}{Ж_{н.м} - Ж_{зн}} = \frac{Q_{зн}}{Ж_г - Ж_{н.м}}. \quad (10)$$

де $Q_{н.м}$ – подача нормалізованого за жирністю молока, м³/с;

$Ж_{н.м}$, $Ж_{зн}$, $Ж_г$ – жирність відповідно нормалізованого, знежиреного молока та вершків, %.

Тоді подачу гомогенізатора можна виразити через подачу знежиреного молока

$$Q_{н.м} = Q_{зн} \left(\frac{Ж_г - Ж_{зн}}{Ж_г - Ж_{н.м}} \right). \quad (11)$$

або через подачу вершків

$$Q_{н.м} = \frac{Q_г (Ж_г - Ж_{зн})}{Ж_{н.м} - Ж_{зн}}. \quad (12)$$

$Q_{зн}$ та $Q_г$ при виконанні нормалізації молока за жирністю пов'язані співвідношенням (10). В цьому випадку, враховуючи формулу (8), отримаємо вираз, який пов'яже параметри струминно-щілинного гомогенізатора молока

$$v_г = \frac{v_{зн} \cdot d_k \left(\frac{Ж_{н.м} - Ж_{зн}}{Ж_г - Ж_{н.м}} \right)}{4 \cdot h}. \quad (13)$$

Для створення максимальної різниці швидкостей фаз, що є необхідною умовою диспергування, згідно результатів теоретичних розрахунків при відстані в місці найбільшого звуження, що дорівнює 2–2,5 мм швидкість вершків при використанні вершків жирністю 10% має складати 12–16 м/с. При жирності вершків, що дорівнює 30% та відстані в місці найбільшого звуження, що знаходиться в межах вказаних значень, для досягнення технологічно заданого середнього діаметра жирових кульок необхідно забезпечити швидкість руху вершків на рівні 4,5–5 м/с. Таким чином можна констатувати, що для забезпечення ефективного зменшення середнього розміру жирових кульок швидкість знежиреного молока має перевищувати швидкість подачі вершків у 7–10 разів.

Потужність струминного гомогенізатора з роздільною подачею жирової фази P складається з потужності насоса подачі вершків $P_г$ та знежиреного молока $P_{зн}$

$$P = P_{зн} + P_г. \quad (14)$$

або

$$P = Q_{зн} \Delta p_{зн} + Q_г \Delta p_г. \quad (15)$$

де Δp_{zn} , Δp_6 – надлишковий тиск подачі знежиреного молока та вершків відповідно, Па.

З урахуванням співвідношення (9) між подачею вершків і знежиреного молока останню формулу можна представити у вигляді

$$P = Q_{zn} \left(\Delta p_{zn} + \frac{(J_{н.м} - J_{zn})}{J_6 - J_{н.м}} \Delta p_6 \right). \quad (16)$$

Надлишковий тиск пов'язаний зі швидкістю співвідношенням

$$\Delta p_{zn} = \frac{v_{zn}^2 \cdot \rho_{zn}}{2\varphi_k^2}. \quad (17)$$

де φ_k – коефіцієнт швидкості для центральної частини камери гомогенізатора.

$$\Delta p_6 = \frac{v_6^2 \cdot \rho_6}{2\varphi_6^2}. \quad (18)$$

де ρ_{zn} та ρ_6 – густина знежиреного молока та молочних вершків, кг/м³;

v_6 – швидкість подачі вершків, м/с;

φ_6 – коефіцієнт швидкості для каналу подачі вершків.

$$\Delta p_{zn} = \frac{8 \cdot Q_{zn}^2 \cdot \rho_{zn}}{\mu_k^2 \cdot \pi^2 \cdot d_k^4}. \quad (19)$$

$$\Delta p_6 = \frac{Q_6^2 \cdot \rho_6}{2\mu_6^2 \cdot \pi^2 \cdot d_k^2 \cdot h^2}. \quad (20)$$

Подачу вершків в залежності від швидкості вершків визначимо як

$$Q_6 = \pi \cdot d_k \cdot h \cdot v_6. \quad (21)$$

Звідки потужність на подачу вершків буде дорівнювати

$$P_6 = \frac{v_6^3 \cdot \rho_6 \cdot \pi \cdot d_k \cdot h}{2 \cdot \varphi_6^2}. \quad (22)$$

З урахуванням формул (19) і (20) вираз для визначення потужності (15) перетворюється до виду

$$P = \frac{8 \cdot Q_{zn}^3 \cdot \rho_{zn}}{\mu_k^2 \cdot \pi^2 \cdot d_k^4} + \frac{Q_v^3 \cdot \rho_v}{2 \cdot \mu_v^2 \cdot h^2 \cdot \pi^2 \cdot d_k^2} \quad (23)$$

або з урахуванням (16)

$$P = Q_{zn}^3 \left(\frac{8 \cdot \rho_{zn}}{\mu_k^2 \cdot \pi^2 \cdot d_k^4} + \left(\frac{J_{н.м} - J_{zn}}{J_v - J_{н.м}} \right)^2 \frac{\rho_v}{2 \cdot \mu_v^2 \cdot h^2 \cdot \pi^2 \cdot d_k^2} \right) \quad (24)$$

Графік залежності потужності гомогенізатора від подачі знежиреного молока має гіперболічний характер (рис. 3). Потужність, необхідна для роботи насоса подачі жирової фази залежить від діаметра каналу в щілині, жирності вершків і ширини щілини в місці найбільшого звуження. Аналізуючи (рис. 3), слід зазначити, що потужність насоса подачі вершків при $Q=1000$ л/год та ширині щілини, що дорівнює 0,2 мм в 4–5 разів менше за потужність насоса, що використовується для подавання знежиреного молока. При зменшенні ширини щілини до 0,08 мм спостерігається вирівнювання потужностей насосів подавання знежиреного молока та вершків.

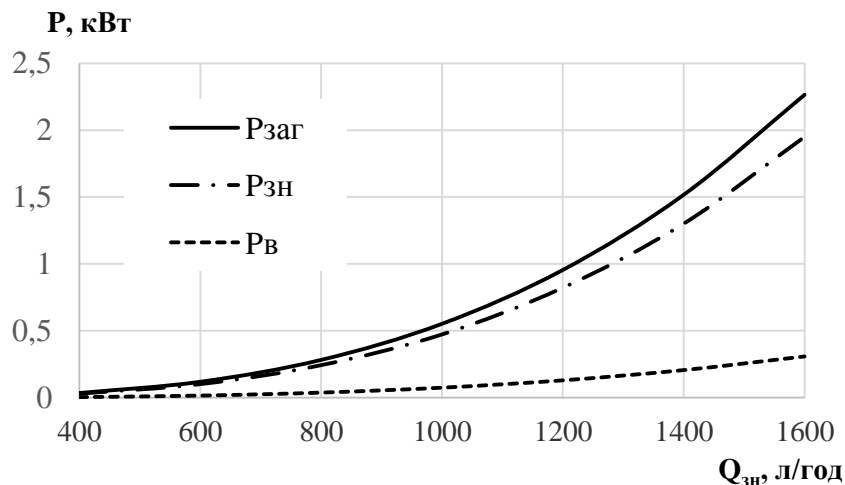


Рис. 3. Графік залежності потужності насосів для подачі знежиреного молока, вершків та сумарної потужності від продуктивності струминно-щілинного гомогенізатора молока при $d_k=0,0025$ мм $\mu_v=0,95$, $\mu_k=0,95$, $J_v=30\%$, $J_{н.м}=3\%$, $J_{н.м}=3\%$, $h=0,2$ мм)

Питомі енерговитрати струминного гомогенізатора, Дж/кг визначаються з формули

$$E_{нум} = \frac{P}{Q_2 \cdot \rho_m}, \quad (25)$$

де Q_2 – загальна продуктивність гомогенізатора, л/год;
 ρ_m – густина молока, кг/м³.

або

$$E_{\text{пит}} = \frac{Q_{\text{зн}} \cdot \Delta p_{\text{зн}} + Q_{\text{в}} \cdot \Delta p_{\text{в}}}{(Q_{\text{в}} + Q_{\text{зн}}) \cdot \rho_{\text{м}}}, \quad (26)$$

З урахуванням формул (19), (20) і (9) формула (26) набуває вигляду

$$E_{\text{пит}} = \frac{Q_{\text{зн}}^2 \left(\frac{8 \cdot \rho_{\text{зн}}}{\mu_{\text{к}}^2 \cdot d_{\text{к}}^4} + \left(\frac{Ж_{\text{н..м}} - Ж_{\text{зн}}}{Ж_{\text{в}} - Ж_{\text{н..м}}} \right)^3 \cdot \frac{\rho_{\text{в}}}{2 \cdot d_{\text{к}}^2 \cdot h^2 \cdot \mu_{\text{ш}}^2} \right)}{\pi^2 \cdot \rho_{\text{м}} \cdot \left(\frac{Ж_{\text{в}} - Ж_{\text{зн}}}{Ж_{\text{в}} - Ж_{\text{н..м}}} \right)}. \quad (27)$$

Зниження питомих енерговитрат процесу гомогенізації в струминно–щілинному гомогенізаторі молока можна досягти при виконанні умов (28)

$$\begin{aligned} (\mu_{\text{к}}, \mu_{\text{в}}, h, Ж_{\text{в}}) &\rightarrow \max \\ (Q_{\text{зн}}, Ж_{\text{н..м}}) &\rightarrow \min/ \end{aligned} \quad (28)$$

Аналіз отриманої залежності (рис. 4) свідчить, що найменших витрат енергії (при $d_{\text{к}}=0,002$ мм $\mu_{\text{в}}=0,95$, $Ж_{\text{в}}=30\%$, $Ж_{\text{н..м}}=3\%$, $Q=1000$ л/год, $h=0,2$ мм) можна досягти при використанні камери, що має циліндричну або коніодальну форму внутрішніх поверхонь. При цьому використання камери з конічним профілем внутрішніх поверхонь призведе до 1–2% зростання енергетичних витрат процесу диспергування.

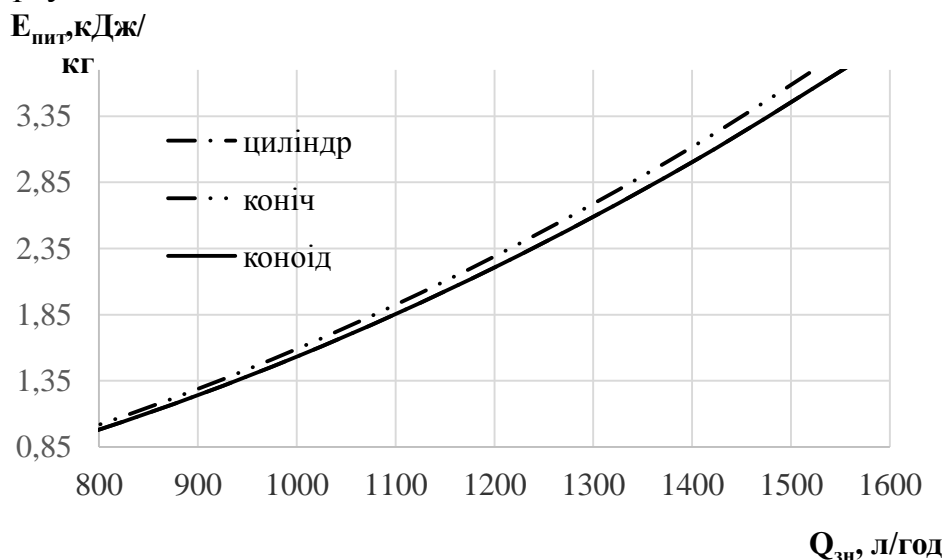


Рис. 4. Графік залежності енергетичних витрат диспергування від продуктивності і форми камери струминно–щілинного гомогенізатора молока (при $d_{\text{к}}=0,002$ мм $\mu_{\text{в}}=0,8$, $\mu_{\text{к}}=0,95$, $Ж_{\text{в}}=30\%$, $Ж_{\text{н..м}}=3\%$, $Ж_{\text{н..м}}=3\%$, $Q=1000$ л/год, $h=0,1$ мм)

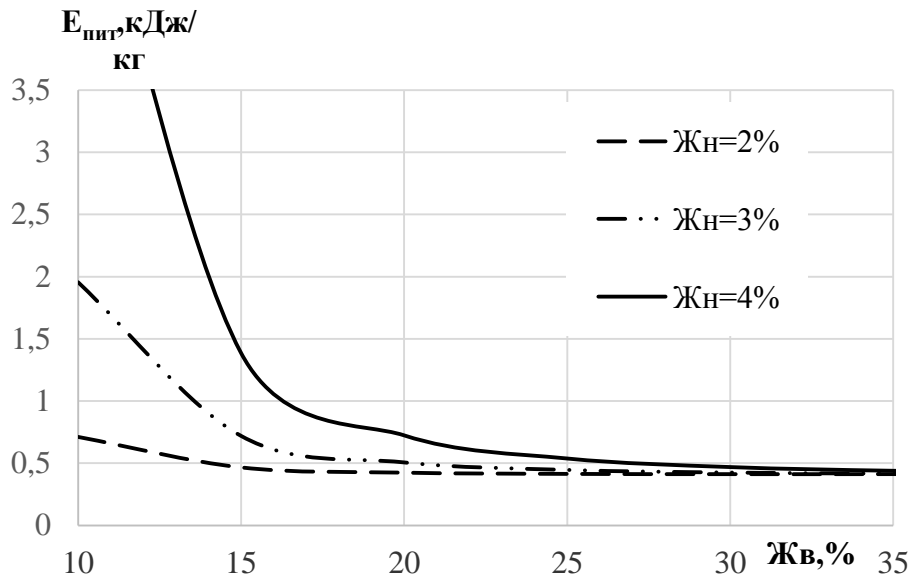


Рис. 5. Залежність питомих енерговитрат $E_{пит}$ від жирності вершків $Ж_v$ та нормалізованого молока $Ж_{н.м}$ (при $Q_{zn}=1000$ л/год, $d_k=0,003$ мм, $\mu_g=0,95$, $h=0,1$ мм, $\mu_k=0,98$).

Характерною особливістю залежності (рис. 5) є значне зростання питомих енерговитрат гомогенізації при використанні вершків з жирністю нижче 25–35%, що пояснюється збільшенням тиску, необхідного для забезпечення проходження вершків крізь щілину в місці подавання дисперсної фази для забезпечення заданої вихідної жирності молока.

При ширині щілини $h = 0,1–0,4$ мм характерною особливістю залежності, представленої на графіку (рис. 5) є більш високі витрати енергії, які при жирності нормалізованого молока на рівні 4% та при використанні вершків, жирність яких складає 15% складають майже 1,5 кДж/кг. При збільшенні ширини щілини до розміру $h = 0,5–0,9$ мм (рис.6) спостерігається значне (3–5 кратне) зниження енергетичних витрат, які при жирності нормалізованого молока на рівні 4% та при використанні вершків, жирність яких складає 15% складають всього 0,33 кДж/кг.

При збільшенні ширини щілини до 0,5–0,9 мм (рис. 6) спостерігається зміна характеру залежності, енергетичні витрати при підвищенні жирності вершків мають зростаючий характер. При цьому з точки зору мінімізації енергетичних витрат доцільно використовувати вершки, жирність яких менше 20%.

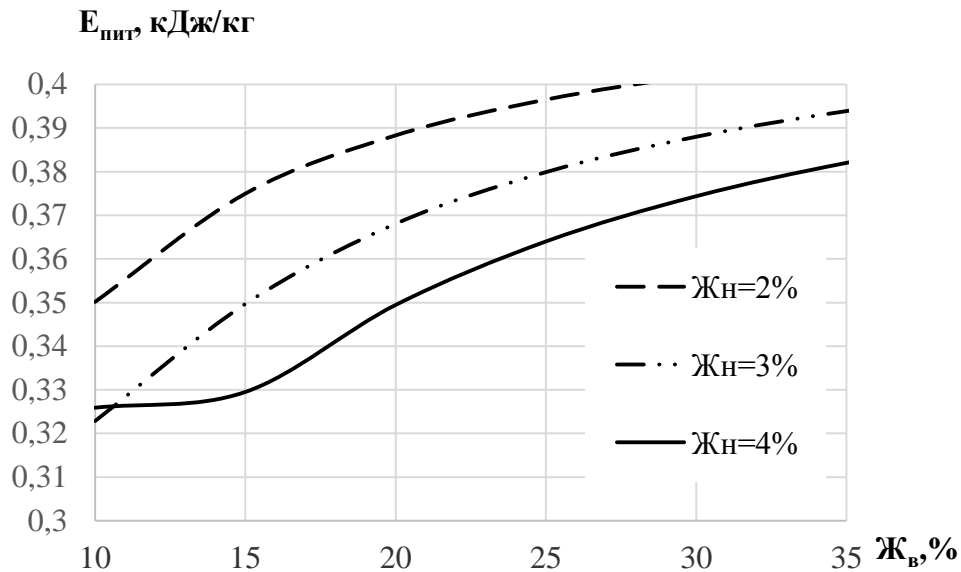


Рис. 6. Залежність питомих енерговитрат E_{nit} від жирності вершків J_v та нормалізованого молока $J_{н.м}$ (при $Q_{zn}=1000$ л/год, $d_k=0,003$ мм, $\mu_k=0,95$, $h=0,9$ мм, $\mu_k=0,98$).

Отримане рівняння (27) дозволяє визначити характер залежності між енергетичними витратами процесу диспергування, діаметром камери в місці найбільшого звуження та продуктивністю гомогенізатора, представленої на рис. 7.

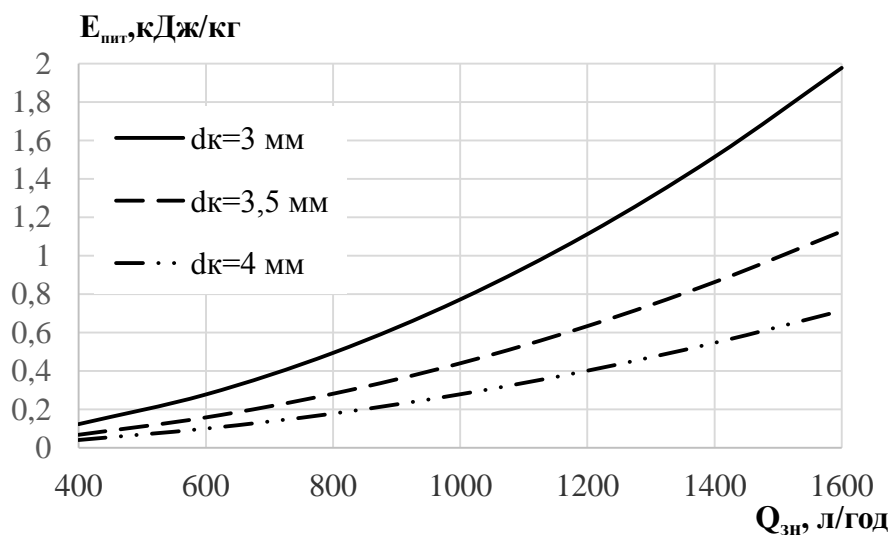


Рис. 7. Залежність питомих енерговитрат E_{nit} від подачі знежиреного молока Q_{zn} і діаметру камери в місці найбільшого звуження (при $h=0,8$ мм, $\mu_k=0,95$, $J_v=30\%$, $\mu_k=0,95$, $J_{н.м}=3\%$)

Аналізуючи залежність, представлену на рис. 7 слід відзначити, що виходячи з умови зниження енергетичних витрат найбільш раціональним є використання камери, що має діаметр у місці найбільшого звуження, який дорівнює 4 мм або більше. При зниженні

діаметру камери до 3 мм в залежності від продуктивності гомогенізатора енергетичні витрати будуть зростати в 2,5–3,5 рази.

Для забезпечення питомих енерговитрат на рівні сучасних енергоефективних гомогенізаторів (1,2–1,5 кВт·год/т), слід використовувати гомогенізатори, внутрішній діаметр яких у місці найбільшого звуження складає 3,5–4 мм. При цьому жирність вершків має бути вище 30–35%, а внутрішній переріз камери повинен мати форму циліндру або коноїду.

Для визначення оптимальних параметрів гомогенізатора проводимо оптимізацію, для виконання якої будуюмо лінії рівної дисперсності при значеннях середнього діаметру жирових кульок, що дорівнює 0,8 мкм для залежностей дисперсності від продуктивності при різних формах камери та значеннях діаметру камери в місці найбільшого звуження. Отримані дані представлені на рис. 8 та 9.

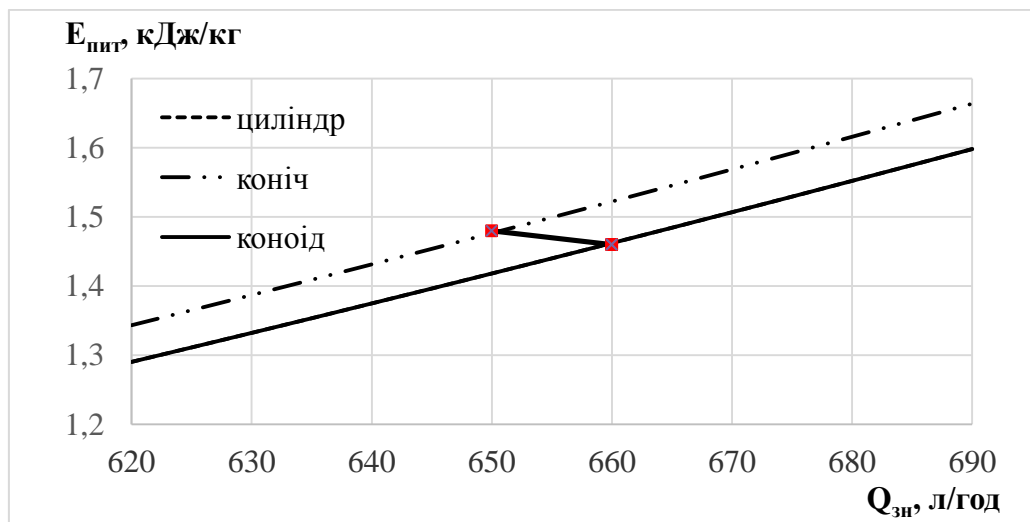


Рис. 7. Оптимізація форми внутрішніх поверхонь камери струминно-щілинного гомогенізатора молока

Аналізуючи залежність, представлену на рис. 8 можна стверджувати, що при умові забезпечення середнього розміру жирових кульок на рівні технологічно обумовлених значень (0,8 мкм) найменші енергетичні витрати може забезпечити камера, внутрішні поверхні якої мають коноїдальний або циліндричний профіль внутрішніх поверхонь. Зважаючи на складність виготовлення камери, що має коноїдальну форму внутрішніх поверхонь, оптимальним слід визнати використання камери, що має циліндричну форму внутрішніх поверхонь.

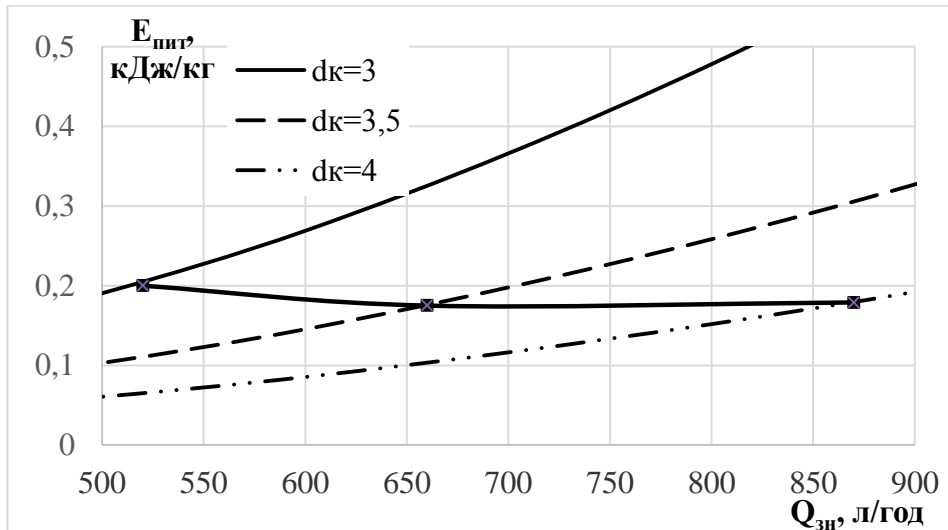


Рис. 9. Оптимізація діаметра камери струминно–щільового гомогенізатора молока в місці найбільшого звуження

Отримані дані (рис. 9) свідчать, що для зниження енергетичних витрат при забезпеченні однакового середнього діаметра жирових кульок (0,8 мкм) необхідно використовувати камеру, внутрішній діаметр якої складає 3,5–4 мм при цьому продуктивність гомогенізатора буде коливатись в діапазоні 660–870 л/год.

Висновки. З метою дослідження зниження енергетичних витрат, що витрачаються на процес диспергування були проведені аналітичні дослідження, які дозволили встановити зв'язок між основними параметрами струминно–щільового гомогенізатора. Було встановлено залежність між середнім діаметром жирової кульки після диспергування, формою камери, коефіцієнтом струминно–щільової гомогенізації та швидкістю знежиреного молока.

Проведена оптимізація, результати якої свідчать про те, що досягти зниження енергетичних витрат можна використовуючи камеру, яка має циліндричний профіль внутрішніх поверхонь, при цьому її діаметр в місці найбільшого звуження має дорівнювати 3,5–4 мм. При цьому при продуктивності 660–870 л/год енергетичні витрати диспергування не будуть перевищувати 0,18–0,19 кДж/кг. В ході подальших досліджень планується проведення експериментальних досліджень параметрів струминно–щільового диспергатора молока.

Література:

1. Филалова Е. А. Гомогенизация. Новый взгляд: монография-справочник. Санкт-Петербург: ГИОРД, 2006. 392 с.
2. Walstra P., Wouters J.T.M., Geurts T.J. Dairy Science and Technology. CRC Taylor & Francis Group, Boca Raton, London, New York, 2006. 279 p.
3. Самойчук К. О. Ковальов О. О., Дейниченко Г. В.

Конструкції струминних диспергаторів жирової фази молока // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь, 2016. Вип. 16, т. 1. С. 219–228.

4. *Самойчук К. О., Ковалев А. А., Бездичный А. А.* Моделирование процесса струйной гомогенизации молока с раздельной подачей сливок // Вестник Могилёвского государственного университета продовольствия. Могилев. 2015. Вип. 2 (19). С. 69-76.

5. *Самойчук К. О., Ковальов О. О.* Механізми диспергування жирових кульок в струминному гомогенізаторі молока // Наукові праці ОНАХТ. Одеса. 2016. Т. 80, вип. 1. С. 103–108.

6. *Самойчук К. О., Ковальов О. О., Султанова В. О.* Якість та енергетична ефективність процесу струминної гомогенізації молока з роздільною подачею вершків // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь. 2015. Вип. 15, т. 1. С. 241–249.

АНАЛИТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ И ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА СТРУЙНО-ЩЕЛЕВОГО ГОМОГЕНИЗАТОРА МОЛОКА

Самойчук К. О., Ковалев А. А., Борохов И. В., Палянычка Н.А.

Аннотация - в статье отражены результаты аналитических исследований процесса диспергирования в струйно-щелевом гомогенизаторе молока. Представлено выражение, которое связывает средний диаметр жировых шариков после диспергирования с факторами, влияющими на его величину. Сделан анализ рациональных значений параметров гомогенизатора, влияющих на средний диаметр жировых шариков после диспергирования. Разработана формула для определения энергетических затрат при проведении гомогенизации и нормализации, рассмотрено влияние каждого из факторов на показатели энергетических затрат при проведении диспергирования. Проведен анализ и определены оптимальные значения величин, влияющих на энергетические затраты и качество процесса.

AN ANALYTICAL STUDY OF THE ENERGY CHARACTERISTICS AND PARAMETERS OF DISPERSION QUALITY IN THE HOMOGENIZER OF MILK JET-SLOT TYPE

K. Samoichuk, A. Kovalyov, I. Borokhov, N. Palyanichka

Summary

Recent studies have identified as the main factor causing a decrease in the average diameter of the fat globules the difference between the speeds of skim milk and cream. Among the structures having the possibility of implementing this principle include the lesser known device of the jet type. Developed in TSATU design milk homogenizer of the jet-plane to ensure that no foaming characteristic of counter-current-jet devices and makes it possible to avoid the obliteration of channels, represent a problem when using devices of the jet type with separate supply of cream.

The article summarizes the results of analytical researches conducted to determine the parameters of the homogenizer jet-slot type, necessary to assess the available opportunities to reduce energy costs during dispersion while ensuring the average size of fat globules at the level of technologically determined values.

Analytical researches have allowed us to obtain a formula that binds all the parameters that affect the average size of fat globules after homogenization. The analysis of this dependence allows us to assert that a high degree of homogenization can be achieved by providing the value of the jet-slit homogenization coefficient equal to 0.8, the diameter of the chamber at the site of the greatest narrowing of the chamber equal to 2-2.5 mm and the manufacture of the chamber having a conical profile of internal surfaces.

The analytical studies of the optimal parameters of the homogenizer jet-slot type allowed to obtain a theoretical dependence, linking the energy costs of dispersion with the main parameters of the process. The analysis of the obtained dependences made it possible to establish that in order to reduce the energy costs in the homogenizer of the jet-slot type, the inner surfaces of the chamber must have a cylindrical shape, the diameter of the chamber in the place of the greatest contraction should be 3.5 mm, and the fat content of the cream supplied to the homogenizer should be less than 30-35%.