

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Таврійський державний агротехнологічний університет  
імені Дмитра Моторного



**Науковий вісник**

Таврійського державного агротехнологічного університету



*Випуск 12, том 3*

Електронне наукове фахове видання

Запоріжжя – 2022 р.

УДК [631.3+621.3+004]

T 13

Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету: електронне наукове фахове видання / ТДАТУ; гол. ред. д.т.н., проф. В. М. Кюрчев. – Мелітополь: ТДАТУ, 2022. – Вип. 12, том 3.

**ISSN 2220-8674**

Друкується за рішенням Вченої Ради ТДАТУ,  
Протокол № 6 від 27 грудня 2022 р.

Представлені результати наукових досліджень вчених у галузях галузевого машинобудування, енергетики, електротехніки, електромеханіки, харчових технологій, комп'ютерних наук та інформаційних технологій.

Видання призначене для наукових працівників, викладачів, інженерно-технічного персоналу і здобувачів вищої освіти, які спеціалізуються у відповідних або суміжних галузях науки та напрямках виробництва.

**Реферативні бази:** Crossref, Google Scholar, AGRIS, «Україна наукова», НБУ ім. В. І. Вернадського.

Редакційна колегія:

**Головний редактор**

Кюрчев В. М. чл.-кор. НААН України, д.т.н., проф. (Україна)

**Заступник головного редактора**

Надикто В. Т. – чл.-кор. НААН України, д.т.н., проф. (Україна)

**Відповідальний секретар**

Діордієв В. Т. – д.т.н., проф. (Україна)

**Технічний секретар**

Кондратюк Ю.В. (Україна)

Beloev Hristo – д.т.н., проф. (Болгарія)

Cortez Jose Italo – PhD (Mexico)

Ivanovs Semjons – PhD (Latvia)

Olt Jüri – PhD, проф. (Eesti)

Pascuzzi Simone – Dr. проф. (Italia)

Вершков О. О. – к.т.н., доц. (Україна)

Волошина А.А. – д.т.н., проф. (Україна)

Гавриленко Є. А. – д.т.н., проф. (Україна)

Галько С. В. – к.т.н., доц. (Україна)

Гнатушенко В. В. – д.т.н., проф. (Україна)

Гумен О. М. – д.т.н., проф. (Україна)

Дейниченко Г. В. – д.т.н., проф. (Україна)

Євлаш В. В. – д.т.н., проф. (Україна)

Журавель Д. П. – д.т.н., проф. (Україна)

Квітка С. О. – к.т.н., доц. (Україна)

Кувачов В. П. – д.т.н., доц. (Україна)

Кузнецов М. П. – д.т.н., с.н.с. (Україна)

Кюрчев С. В. – д.т.н., проф. (Україна)

Лендел Т. І. – к.т.н., (Україна)

Лисиченко М. Л. – д.т.н., проф. (Україна)

Ломейко О. П. – к.т.н., доц. (Україна)

Лубко Д. В. – к.т.н., доц. (Україна)

Лясковська С. Є. – к.т.н., доц. (Україна)

Малкіна В. М. – д.т.н., проф. (Україна)

Мацулевич О. Є. – к.т.н., доц. (Україна)

Паламарчук І. П. – д.т.н., проф. (Україна)

Панченко А. І. – д.т.н., проф. (Україна)

Пилипенко Л. М. – д.т.н., проф. (Україна)

Погребняк А. В. – д.т.н., проф. (Україна)

Постолатій В. М. – д.х.т.н. (Молдова)

Пріс О. П. – д.т.н., проф. (Україна)

Самойчук К. О. – д.т.н., проф. (Україна)

Сердюк М. Є. – д.т.н., проф. (Україна)

Сидоренко О. С. – к.т.н., доц. (Україна)

Скляр О. Г. – к.т.н., проф. (Україна)

Скляр Р. В. – к.т.н., доц. (Україна)

Соболь О. М. – д.т.н., проф. (Україна)

Тітова О. А. – д.т.н., доц. (Україна)

Холодняк Ю. В. – к.т.н., доц. (Україна)

Шоман О. В. – д.т.н., проф. (Україна)

Яковлев В. Ф. – к.т.н., проф. (Україна)

Ялпачик В. Ф. – д.т.н., проф. (Україна)

Відповідальний за випуск – к.т.н., професор Скляр О. Г.

Адреса редакції: ТДАТУ

Вул. Жуковського, 66,

м. Запоріжжя, 69600, Україна

© Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного, 2022.



DOI: 10.31388/2220-8674-2022-3-13

УДК 637.134

О. О. Ковальов, к.т.н., ст. викл.,

ORCID: 0000-0002-4974-5201

К. О. Самойчук, д.т.н, проф.,

ORCID: 0000-0002-3423-3510

Н. О. Паляничка, к.т.н., доц.

ORCID: 0000-0001-8510-7146

*Таврійський державний агротехнологічний університет  
імені Дмитра Моторного*

e-mail: oleksandr\_kovalov@tsatu.edu.ua, тел.: (096)3205531

### ОПТИМІЗАЦІЯ ФОРМИ ВНУТРІШНІХ ПОВЕРХОНЬ КІЛЬЦЕВОЇ ЩІЛИНИ СТРУМИННОГО ГОМОГЕНІЗАТОРА МОЛОКА

*Анотація.* В статті було визначено, що з точки зору забезпечення найменшого середнього діаметру жирових кульок раціональним є використання камери з конічною формою внутрішніх поверхонь конфузору. Було обґрунтовано, що для зниження енергетичних витрат диспергування необхідно виготовляти камеру з коноїдальною формою профілю. Результати оптимізації свідчать, що забезпечити зниження питомих енергетичних витрат диспергування до 0,95–0,97 кВт·год/т при одночасному отриманні продукту з середнім діаметром жирових кульок на рівні клапанних гомогенізаторів можливо при використанні конфузору з конічною формою внутрішніх поверхонь. Отримані результати при проведенні оптимізації форми внутрішніх поверхонь кільцевої щілини струминного гомогенізатора молока свідчать, що забезпечити підвищення енергоефективності можливо при виготовленні внутрішніх торцевих поверхонь між конфузором та дифузором коноїдальної форми профілю.

*Ключові слова:* кільцева щілина, продуктивність, енергетичні витрати, конфузоре, профіль внутрішніх поверхонь, диспергування.

*Постановка проблеми.* Серед найактуальніших завдань, які стоять перед молокопереробною промисловістю, особливу увагу фахівці галузі приділяють вирішенню проблеми підвищення енергоефективності процесу диспергування. Необхідність проведення диспергування жирової фази молочної емульсії пояснюється наявністю в необробленому молоці жирових кульок, що мають середній діаметр близько 3–4 мкм. При таких розмірах жирові кульки, згідно відомої залежності Стокса будуть з досить високою швидкістю підніматись догори, утворюючи шар вершків. Таким чином, без проведення



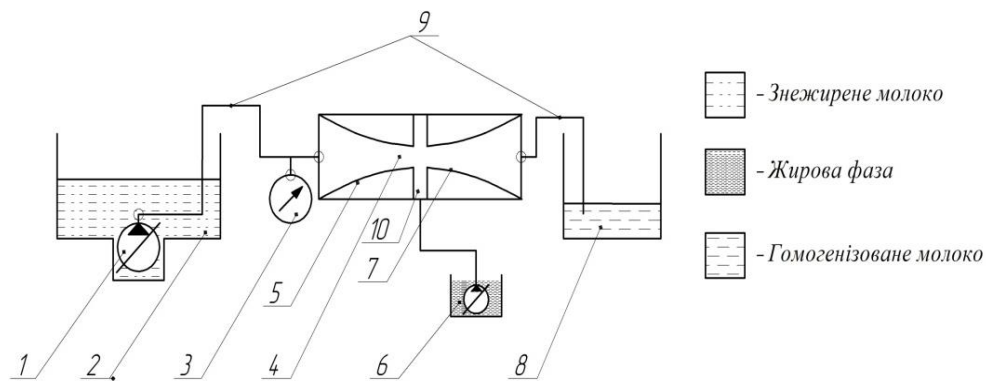
диспергування жирової фази споживач буде отримувати розшаровану на фракції молочну емульсію зі зниженими смаковими та харчовими властивостями.

Незважаючи на тривалий досвід використання процесу для поліпшення смакових і товарних якостей молочних продуктів, енергетичні витрати для найбільш поширених у промисловості клапанних диспергаторів все ще мають високі значення. Згідно [1] енергетичні витрат клапанного гомогенізатора складають понад 7–8 кВт·год/т переробленого молока та за цим показником наближуються до енерговитрат процесу подрібнення зерна (9–15 кВт·год/т).

*Аналіз останніх досліджень.* З метою забезпечення споживчого попиту на високоякісні молочні вироби провідні науковці робили численні спроби забезпечити зниження енерговитрат гомогенізації при одночасному забезпеченні технологічно обумовлених значень середнього діаметра жирових кульок [2,3]. Наслідком цих спроб стало висування понад 10 гіпотез диспергування, що мають протиріччя та суперечності між собою [1,4]. Серед обставин, які ускладнюють проведення досліджень процесу диспергування та висування єдиної теорії процесу дослідники називають високі швидкості руху рідини та мікроскопічні розміри досліджуваних часток, що заважає здійсненню фіксації митті руйнування жирових кульок [5,6].

Новітні дослідження провідних науковців кафедри обладнання переробних і харчових виробництв імені професора Ф.Ю. Ялпачика, спрямовані на підвищення енергоефективності диспергування дозволили запропонувати гіпотезу про різницю між швидкостями дисперсійної та дисперсної фаз, як головного фактору гомогенізації [7]. На базі згаданої гіпотези авторства К.О. Самойчука та під його керівництвом було розроблено декілька видів струминних гомогенізаторів молока [8]. Однією з таких конструкцій є струминно–щілинний гомогенізатор молока з роздільною подачею вершків, технологічна схема якого наведена на рисунку 1.

До надходження на обробку в цьому диспергаторі молоко проходить сепарацію з утворенням знежиреного молока та вершків. Після цього знежирене молоко з ємності 2 під високим тиском, що створюється за допомогою насосу подачі знежиреного молока 1 та контролюється манометром 3 подається до камери гомогенізації, одна з частин якої має форму конфузору 5 [9]. При досягненні знежиреним молоком місця найбільшого звуження конфузору 4 до нього з окремої ємності за допомогою шестеренного насосу 6 крізь кільцеву щілину 10 подається необхідна кількість вершків, розрахована з рівняння матеріального балансу [1,6]. Таким чином, розроблений гомогенізатор струминно–щілинного типу поєднує операції з нормалізації (доведення молока до технологічно заданої жирності) та диспергування



1—шестеренний насос подачі знежиреного молока; 2—ємність для знежиреного молока; 3—манометр; 4—місце найбільшого звуження; 5—внутрішні поверхні конфузору; 6—шестеренний насос для подачі вершків; 7—внутрішні поверхні дифузору; 8—ємність для зливу обробленого продукту; 9—гнучкі трубопроводи; 10—кільцева щілина для подачі жирової фази.

Рисунок 1. Технологічна схема роботи струминного гомогенізатора молока щілинного типу

(зменшення середнього діаметра жирових кульок та забезпечення їх рівномірного розподілу в об'ємі молочної плазми). При подаванні тонкого струменю вершків зі швидкістю в 8–10 разів меншою за швидкість подачі знежиреного молока в зоні переходу до розширення дифузору 7 створюються необхідні гідродинамічні умови для досягнення критичного значення критерію руйнування Вебера, внаслідок чого відбувається диспергування. Гомогенізоване молоко після проходження дифузору по гнучкому трубопроводу 9 подається до ємності для накопичення обробленого продукту 8 [9].

Результати аналітичних досліджень свідчать про можливість 8–10 кратного зниження питомих енерговитрат диспергування при одночасному забезпеченні зменшення середнього діаметра жирових кульок до показників клапанних гомогенізаторів (0,75–0,85 мкм) [5].

*Формулювання цілей статті (постановка завдання).* Отримані в ході проведення аналітичних досліджень залежності свідчать про наявність зв'язку між формою внутрішніх поверхонь кільцевої щілини якістю та енерговитратами гомогенізації. Таким чином метою даної статті є обґрунтування оптимальної форми профілю внутрішніх поверхонь кільцевої щілини струминно–щілинного гомогенізатора молока. Для досягнення поставленої мети вирішувалось наступні задачі:

- встановлювався вплив форми профілю внутрішніх поверхонь конфузору на середній діаметр жирових кульок після диспергування;
- встановлювався вплив форми профілю внутрішніх поверхонь



конфузору на енергетичні витрати процесу гомогенізації;

– проводилась оптимізація для обґрунтування форми профілю внутрішніх поверхонь конфузору в місці найбільшого звуження;

– проводилась оптимізація форми внутрішніх поверхонь профілю між конфузуром та дифузуром.

*Основна частина.* Визначальним параметром, від якого залежить дисперсність жирової фази є швидкість знежиреного молока  $v_{zn}$  в місці подачі жирової фази. Її значення можна визначити, враховуючи подачу знежиреного молока  $Q_{zn}$  і розміри камери гомогенізації

$$v_{zn} = \frac{Q_{zn}}{\varepsilon_k S}, \quad (1)$$

де  $\varepsilon_k$  – коефіцієнт стиснення для центральної частини камери, який залежить від форми камери та дорівнює 1 для внутрішніх поверхонь, які мають циліндричну та коноїдальну форму та 0,98 для камери з конічною формою;

$S$  – площа перетину камери струминно-щільового диспергатора в місці найбільшого звуження конфузору,  $m^2$ .

$$S = \frac{\pi d_k^2}{4}, \quad (2)$$

де  $d_k$  – внутрішній діаметр камери щілинного гомогенізатора в місці найбільшого звуження, м.

Після перетворень середній діаметр жирових кульок в струминно-щілинному гомогенізаторі молока можна визначити як (3)

$$d_{cp} = \frac{We_k \sigma_{ж-п} \varepsilon_k^2 \pi^2 d_k^4}{32 \rho_{пл} k_{щ}^2 Q_{zn}^2}, \quad (3)$$

де  $We_k$  – критичне значення критерію Вебера, експериментально підтвержене значення якого для струминного гомогенізатора молока з роздільною подачею вершків складає 28;

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

$k_{щ}$  – коефіцієнт, що враховує неявну залежність впливу параметрів кільцевої щілини (жирність, швидкість вершків та ширину кільцевої щілини).

Отримана залежність (3), пов'язує технологічні, конструктивні та гідравлічні параметри, зокрема середній діаметр жирових кульок, продуктивність, коефіцієнт струминно-щілинної гомогенізації та діаметр камери в місці найбільшого звуження.

Форма внутрішньої поверхні камери гомогенізатора визначає коефіцієнти витрат та швидкості потоку знежиреного молока. Найбільш характерними типами профілю внутрішніх поверхонь

кільцевої щілини можуть бути:

- циліндрична ( $\varphi=0,82$ ;  $\mu=0,82$ ;  $\varepsilon=1$ ),
- конічна, що сходиться з кутом конусності (12 – 15) ( $\varphi=0,96$ ;  $\mu=0,95$ ;  $\varepsilon=0,98$ );
- коноїдальна ( $\varphi=0,98$ ;  $\mu=0,98$ ;  $\varepsilon=1$ ) [10-12].

Найбільш високі значення швидкості, а отже і показників дисперсності можливо отримати при використанні камери конічної форми (рисунок 2). Це відбувається за рахунок зниження швидкості при зменшенні  $\varepsilon_k$ , завдяки чому згідно формули (3) відбувається зменшення  $d_{cp}$

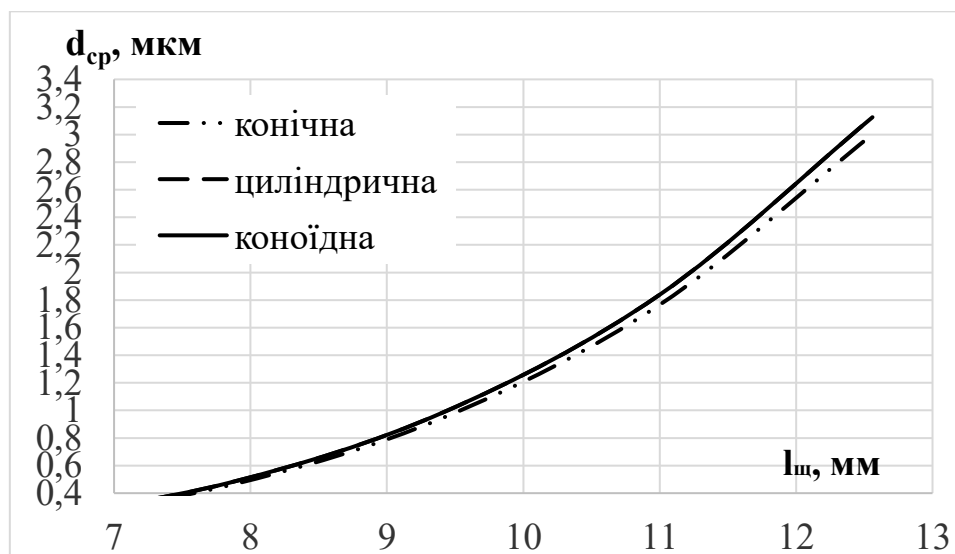


Рисунок 2. Залежність середнього діаметру жирових кульок  $d_{cp}$  від довжини кільцевої щілини  $l_{щ}$  та коефіцієнту стиснення для внутрішніх поверхонь конфузору в місці найбільшого звуження камери  $\varepsilon_k$  (при  $We_k=50$ ,  $d_k=3,5\text{мм}$ ,  $k_{щ}=0,5$ )

Аналіз залежності середнього діаметра жирових кульок від діаметра конфузору в місці найбільшого звуження камери і коефіцієнту витрат для центральної частини камери  $\varepsilon_k$  (рисунок 2) свідчить що зміна  $\varepsilon_k$  незначно впливає на середній діаметр жирових кульок. Найбільш високі значення швидкості, а отже і показники дисперсності можливо отримати при використанні камери конічної форми для якої коефіцієнт стиснення струменю має мінімальні значення та дорівнює  $\varepsilon_k=0,98$ .

Для підвищення дисперсності жирової фази при гомогенізації молока в струминно-щілинному гомогенізаторі молока (зменшення  $d_{cp}$ ) необхідно виконання умов [3,13]

$$(We_k, \sigma_{ж-п}, \varepsilon_k, d_k) \rightarrow \min; (k_{щ}, Q_{зн}) \rightarrow \max. \quad (4)$$

Знизити поверхневий натяг на границі жир-плазма  $\sigma_{ж-п}$  можливо за



рахунок підвищення температури гомогенізації та шляхом використання емульгаторів, а знизити коефіцієнт стиснення  $\varepsilon_k$  можливо за рахунок профілювання внутрішніх поверхонь конфузору.

Питомі енерговитрати струминно–щілинного гомогенізатора  $E_{питг}$ , визначаються з формули [14]

$$E_{питг} = \frac{P}{Q_2 \cdot \rho_m}, \quad (5)$$

де  $\rho_m$  – густина молока, кг/м<sup>3</sup>;

$Q_г$ , – подача нормалізованого за жирністю молока, м<sup>3</sup>/с.  
або з врахуванням рівняння матеріального балансу

$$E_{питг} = \frac{Q_{зн} \cdot \Delta p_{зн} + Q_v \cdot \Delta p_v}{(Q_v + Q_{зн}) \cdot \rho_m}, \quad (6)$$

де  $Q_{зн}$ ,  $Q_v$  – подача знежиреного молока та вершків, м<sup>3</sup>/с;

$\Delta p_{зн}$ ,  $\Delta p_v$  – тиск подачі знежиреного молока та вершків, МПа.

Після перетворень формула (6) набуває вигляду

$$E_{питг} = \frac{\Delta p_{зн} \left( \delta \cdot \rho_{зн} + \frac{\mu_k^2 \cdot d_k^2 \cdot \rho_v}{2 \cdot h^2 \cdot \mu_v^2} \left( \frac{J_{н.м} - J_{зн}}{J_v - J_{н.м}} \right)^3 \right)}{\delta \cdot \rho_{зн} \cdot \rho_m \cdot \left( \frac{J_v - J_{зн}}{J_v - J_{н.м}} \right)}, \quad (7)$$

де  $\rho_{зн}$ ,  $\rho_v$  – густина молочної плазми та вершків, кг/м<sup>3</sup>;

$\mu_k$ ,  $\mu_v$  – коефіцієнт витрат внутрішніх поверхонь конфузору в місці найбільшого звуження та коефіцієнт витрат кільцевої щілини;

$J_{н}$ ,  $J_{зн}$ ,  $J_v$  – жирність нормалізованого, знежиреного молока та вершків, %;

$h$  – ширина кільцевої щілини, м

Аналіз залежності (рисунок 3) свідчить, що найменших енерговитрат можна досягти при використанні камери, внутрішні поверхні якої мають коноїдальний профіль.

Процес диспергування молока в струминно–щілинному гомогенізаторі молока має забезпечувати зменшення середнього розміру жирових кульок до рівня 0,75–0,80 мкм при мінімальних енергетичних витратах. Гідравлічні, конструктивні і технологічні параметри гомогенізатора, які відповідають таким вимогам, будемо вважати оптимальними. Підвищення дисперсності відбувається за умови (4), а зниження питомих енерговитрат досягається при

$$(\mu_k, \mu_v, h, J_v) \rightarrow \max; (Q_{зн}, J_{н.м}) \rightarrow \min. \quad (8)$$

Для знаходження оптимальних параметрів струминно–щілинного гомогенізатора молока, необхідно порівняти умови (4) і (8). Для визначення оптимальних параметрів гомогенізатора проводимо



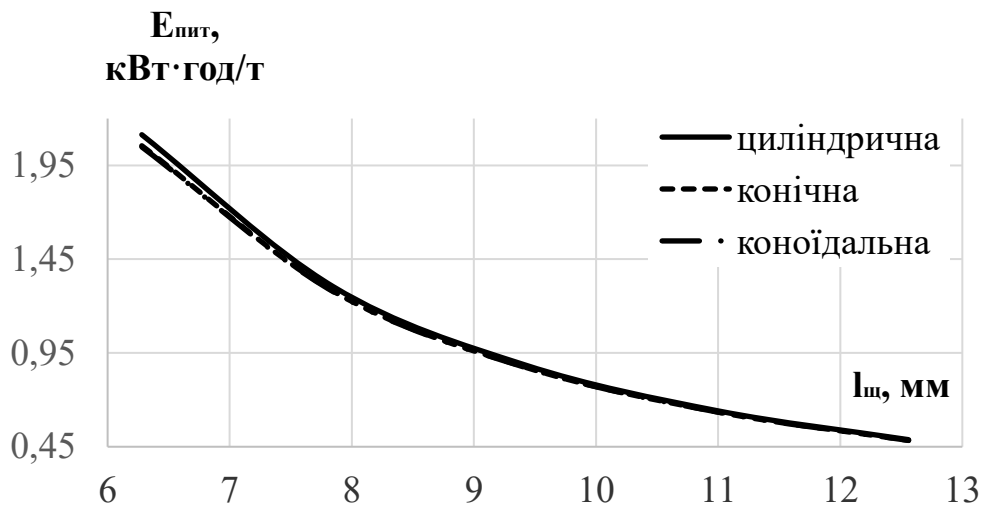


Рисунок 3. Залежність питомих енерговитрат від діаметра конфузора в місці звуження і коефіцієнту витрат внутрішніх поверхонь конфузору для типових форм внутрішньої поверхні камери (при  $Q_r=2000$  кг/год;  $J_{н.м}=3,5\%$ ;  $J_{зн}=0,05\%$ ;  $J_v=40\%$ ;  $h=0,2$  мм;  $\mu_v=0,06$ )

оптимізацію, для виконання якої будуюмо лінії рівної дисперсності при значеннях середнього діаметра жирових кульок, що дорівнює 0,8 мкм для залежностей дисперсності від продуктивності при різних типах форм камери та значеннях діаметру конфузору в місці найбільшого звуження. Отримані дані наведені на рисунку 4.

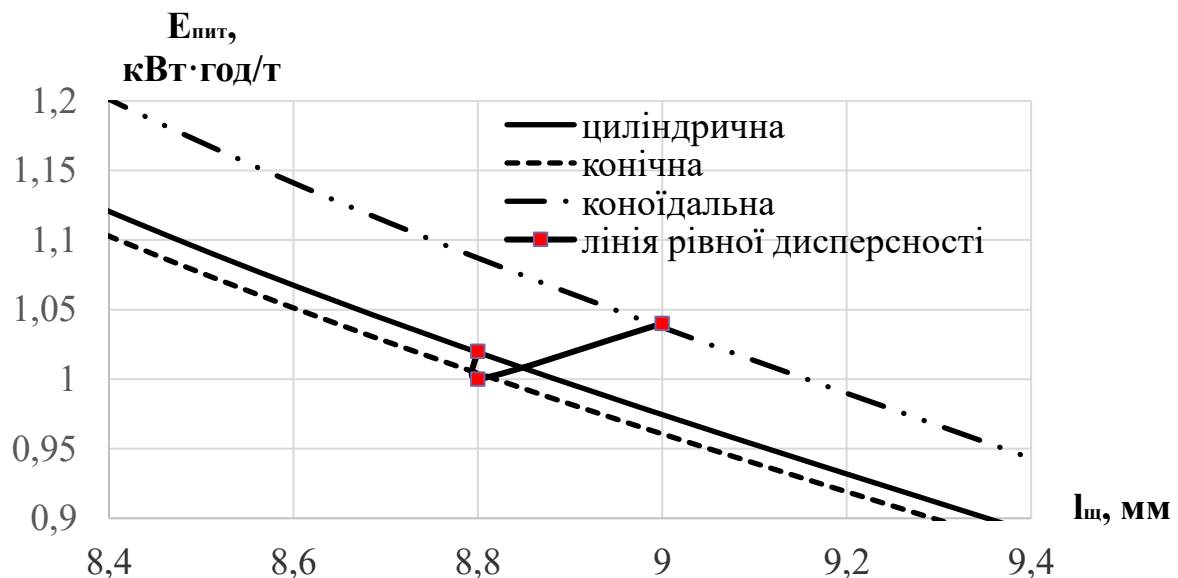


Рисунок 4. Оптимізація форми внутрішніх поверхонь камери та діаметра конфузору в місці найбільшого звуження камери струминно-щільного гомогенізатора молока (при  $J_{зн}=0,05\%$ ;  $J_{н.м}=3,5\%$ ;  $J_v=40\%$ ;  $h=0,5$  мм;  $\mu_v=0,1$ ;  $Q_r=1000$  кг/год)



Аналізуючи отриману залежність, можна стверджувати, що для зниження енерговитрат при забезпеченні однакового середнього діаметра жирових кульок (0,8 мкм) необхідно використовувати камеру, внутрішній діаметр якої в місці найбільшого звуження має коливатись в діапазоні 2,75 до 2,85 мм, або при довжині кільцевої щілини 8,7 – 8,9 мм. При цьому найбільш енергоефективним є використання камери конічного профілю внутрішніх поверхонь, при цьому енерговитрати будуть складати близько 0,95–0,97 кВт·год/т. При використанні камери, внутрішні поверхні конфузору якого мають циліндричний профіль призводить до 2–3% зростання енергетичних витрат процесу та до більш ніж 35% зростання енерговитрат для камери, яка має коноїдальний профіль внутрішніх поверхонь конфузору.

Оскільки згідно (7) коефіцієнт витрат впливає на енергетичні витрати процесу диспергування, а його значення за даними різних довідників знаходиться в дуже широкому діапазоні значень [1,15], окремо проводилось визначення реального значення цього параметру. Оптимальний діапазон ширини кільцевої щілини був визначений у [9] та складає 0,6–0,8 мм. Результати експериментальних досліджень свідчать, що реальні значення коефіцієнту витрат кільцевої щілини знаходяться в діапазоні від 0,05 для  $h=0,6$  мм до 0,19 для  $h=0,8$  мм [5]. При умові забезпечення середнього розміру жирових кульок на рівні технологічно обумовлених значень найменші енергетичні витрати може забезпечити кільцева щілина, внутрішні поверхні якої мають коноїдний профіль, для якої гідравлічний коефіцієнт витрат є найменшим.

*Висновки.* За результатами проведених досліджень було визначено оптимальну форму конфузору в місці найбільшого звуження та внутрішніх поверхонь кільцевої щілини. Було встановлено, що з точки зору забезпечення найменшого значення середнього діаметра жирових кульок раціональною є конічна форма профілю внутрішніх поверхонь конфузору. За результатами досліджень впливу форми конфузору на енергетичні витрати диспергування було визначено, що раціональним є виготовлення конфузору коноїдальної форми.

Результати проведеної оптимізації форми внутрішніх поверхонь конфузору свідчать, що забезпечити зниження енергетичних витрат диспергування до 0,95–0,97 кВт·год/т при середньому діаметрі жирових кульок на рівні клапанних гомогенізаторів можливо забезпечити при виготовленні конфузору конічної з конічною формою внутрішніх поверхонь. Найменше значення гідравлічного коефіцієнту витрат забезпечується при виготовленні внутрішніх торцевих поверхонь кільцевої щілини коноїдальної форми. Подальші дослідження струминно–щілинного гомогенізатора молока будуть спрямовані на розробку методики розрахунку параметрів промислового зразку диспергатора.



## Список використаних джерел

1. Нужин Е. В., Гладушняк А. К. Гомогенизация и гомогенизаторы: монография. Одесса: Печатный дом. 2007. 264 с.
2. Liao Y. X., Lucas D. A literature review of theoretical models for drop and bubble breakup in turbulent dispersions. *Chem. Eng. Sci.*, 2009. 64, Pp 3389–3406.
3. Walstra P., Wouters J. T. M and Geurts T. J. Homogenization. In: *Dairy Science and Technology*. Boca Raton London New York. 2006, 279 p.
4. Самойчук К. О., Ковальов О. О. Шляхи підвищення якості диспергування в клапанних гомогенізаторах молока. *Новації в технології та обладнанні готельно-ресторанних, харчових і переробних виробництв: друга міжнародна науково-практична інтернет-конференція (23 листопада 2021 р.)* під заг. ред. В. М. Кюрчева. Мелітополь: ТДАТУ, 2021. С. 26–28.
5. Bratishko V, Kovalov O. Economical efficiency of using a dispergator jet-slot type. *Проблеми та перспективи розвитку агропромислового комплексу України: матеріали II Всеукраїн. наук.-практ. Інтернет-конференції*. ТДАТУ: ред. кол. С. В. Кюрчев, О.В. Пеньов, Е. К. Посвятенко [та ін.]. Мелітополь: ТДАТУ, 2021. С. 113–115.
6. Дідур В.А., Савченко О.Д., Журавель Д.П., Мовчан С.І. Гідравліка та її використання в агропромисловому комплексі. Підручник. К: Аграрна освіта. 2008. 577 с.
7. Ковальов О. О. Аналіз конструкцій гомогенізаторів молока. *Праці ТДАТУ*. Мелітополь: ТДАТУ, 2020. Вип. 20, т. 4. С. 264–272.
8. Samoichuk K., Kovalyov A., Oleksiienko V., Palianychka N., Dmytrevskiy D., Chervonyi V., Horielkov D., Zolotukhina I., Slashcheva A. Determination of fat milk dispersion quality in the jet-slot type milk homogenizer. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. № 5/11 (107). Pp 16–24.
9. Ковальов О. О. Обґрунтування параметрів струминно-щілинного гомогенізатора молока з роздільною подачею вершків: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.05.11. ТДАТУ. Мелітополь, 2021. 20 с.
10. Ward K., Fan Z. H. Mixing in microfluidic devices and enhancement methods. *Journal of Micromechanics and Microengineering*. 2015. 25.
11. Walstra P, Wouters J T M and Geurts T J. Homogenization. In: *Dairy Science and Technology*. Second Edn. *Taylor & Francis Group*, LLC. Boca Raton London New York. 2006. 279 p.
12. Dhankhar, P. (2014). Homogenization fundamentals. *IOSR Journal*



of Engineering, 4(5), Pp. 1–8.

13. Jiang, B., Shi, Y., Lin, G., Kong, D., Du, J. Nanoemulsion prepared by homogenizer : The CFD model research. *Journal of Food Engineering*, 2019. 241, Pp. 105–115.

14. Huppertz T. Homogenization of Milk Other. Types of Homogenizer (High-Speed Mixing, Ultrasonics, Microfluidizers, Membrane Emulsification). *Encyclopedia of Dairy Sciences*, 2nd Edition, 2011. Pp 761–764.

15. Ciron, C. I. E., Gee, V. L., Kelly, A. L., Auty, M. A. E. (2010). Comparison of the effects of high-pressure microfluidization and conventional homogenization of milk on particle size, water retention and texture of non-fat and low-fat yoghurts *International Dairy Journal*, 20 (5), Pp. 314–320.

Стаття надійшла до редакції 16.12.2022 р.

**A. Kovalov, K. Samoichuk, N. Palianychka**  
**Dmytro Motorny Tavria state agrotechnological university**

## **OPTIMIZATION OF THE FORM OF THE INTERNAL SURFACES OF THE RING SLOT OF THE FLOW MILK HOMOGENIZER**

### **Summary**

Reducing the energy costs of dispersing remains a priority task of leading scientists and experts in the milk processing industry. In the course of the practical implementation of the hypothesis about the decisive influence on the destruction of fat globules of the difference between the speeds of the dispersed and dispersed phases, a jet-slit homogenizer of milk with a separate supply of cream was created. It is predicted that its implementation is able to ensure a reduction of the specific costs of dispersion up to 8-10 times compared to the valve milk homogenizer, which is the most common in the milk processing industry.

The results of analytical studies indicate the existence of a dependence between the shape of the confusor and the inner surfaces of the annular gap and the average diameter of the fat globules and the energy costs of dispersing the fat phase of the milk emulsion. The article is devoted to determining the optimal shape of the internal profile of the confusor and the surfaces between the confusor and the diffuser at the place of cream feeding.

In the article, it was determined that from the point of view of ensuring the smallest average diameter of fat balls, it is rational to use a camera with a conical shape of the inner surfaces of the confusor. It was substantiated that in order to reduce the energy costs of dispersion, it is necessary to manufacture a chamber with a conoidal profile shape. The optimization results show that it is possible to reduce the specific energy costs of dispersion to 0.95–0.97 kWh/t while simultaneously obtaining a product with an average diameter of fat balls at the level of valve homogenizers when using a confusor with a conical shape of the internal surfaces. The results obtained during the optimization of the shape of the internal surfaces of the annular gap of the jet milk homogenizer show that it is possible to increase the energy efficiency by making the internal end surfaces between the confusor and the diffuser of a conoid profile.

**Key words:** annular gap, productivity, energy costs, confusor, profile of internal surfaces, dispersion.

**ЗМІСТ****ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ**

- Богомолов О. В., Михайлов В. М., Завгородній О. І., Ірклієнко В. І., Богомолов О. О., Іващенко С. Г.* 1  
До питання енергоємності процесів сепарації зернових сумішей
- Кюрчев С. В., Верхованцева В. О.* 2  
Аналіз ефективності застосування каскадного морозильного пристрою для заморожування ягід
- Скляр О. Г., Скляр Р. В., Болтянський Б. В.* 3  
Аналіз сучасних технологій та обладнання для утримання виробничої птиці
- Тебенко В. М., Завадских Г. М., Лисак О. І.* 4  
Пріоритетні напрями інноваційного розвитку
- Журавель Д. П., Бондар А. М., Філенко Д. Ю.* 5  
Структурний аналіз надійності сільськогосподарської техніки при експлуатації на біопально-мастильних матеріалах
- Самойчук К. О., Ковальов О. О., Фучаджи Н. О.* 6  
Методика розрахунку параметрів промислового зразка струминно-щілинного гомогенізатора молока
- Kotar A. S.* 7  
Modern technologies for processing livestock manure and poultry litter into high-quality fertilizers
- Болтянська Л. О.* 8  
Енергозбереження та енергоефективність в домогосподарствах населення
- Дашивець Г. І., Бондар А. М., В'юник О. В.* 9  
Вплив технологічної бази на підвищення рівня виробничих ресурсів сервісного підприємства
- Бондаренко Л. Ю., Тетервак І. Р.* 10  
Огляд агрегатів для покращення кисневого балансу компостної суміші



- Мітков В. Б.* 11  
Обґрунтування доцільності введення екологічного контролю енергетичних засобів при виробництві сільськогосподарської продукції
- Болтянський Б. В., Скляр Р. В.* 12  
Модель функціонування бази технічного сервісу обладнання тваринницьких підприємств
- Ковальов О. О., Самойчук К. О., Паляничка Н. О.* 13  
Оптимізація форми внутрішніх поверхонь кільцевої щілини струминного гомогенізатора молока
- Журавель Д. П.* 14  
Прогнозування надійності паливної системи мобільної техніки при використанні біодизельних паливних
- Лисак О. І., Тебенко В. М., Завадських Г. М.* 15  
Розробка бізнес-плану вирощування цукрової кукурудзи для малих підприємств півдня України
- Ломейко О. П., Верхованцева В. О., Паляничка Н. О.* 16  
Аналіз ефективності способів вдосконалення клапанних гомогенізаторів

## ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

- Дідур В. В., Журавель Д. П., Шокарев О. М., В'юник О. В., Комар А. С.* 17  
Аналіз технологій отримання олії з олійних культур
- Боковець С. П., Перцевой Ф. В.* 18  
Дослідження гідрогелів агару у поєднанні з медом та кунжутним борошном методом дск для виробництва батончиків
- Бандура В. М., Фіалковська Л. В.* 19  
Технологія зберігання насіння зернових культур
- Ілляшенко Я. І., Мельник О. Ю.* 20  
Використання кріопорошків в технології виготовлення пастили
- Семко Т. В., Іваніщева О. А.* 21  
Формування функціональних властивостей пісочно-відсаджувального печива шляхом застосування зостери



- Крижак Л. М.* 22  
Перспективне використання плодів садової ірги (*Amelanchier medic*) у харчовій промисловості
- Роженко А. С., Мельник О. Ю.* 23  
Використання калини та продуктів її переробки у виробництві здобних виробів
- Пахомська О. В.* 24  
Харчові добавки: класифікація та вплив на організм людини
- Кошель О. Ю., Москаленко А. О., Маренкова Т. І., Лобачова Н. Л.* 25  
Визначення показників якості тіста для круасанів
- Геліх А. О., Головка М. П., Кошель О. Ю., Василенко О. О., Чернишов С. О.* 26  
Удосконалення технології м'ясних тістових напівфабрикатів з використанням безглютенової рослинної сировини

### **ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА**

- Волошин В. С., Азархов О. Ю.* 27  
До питання ролі людини в енергетичному обміні сонце-земля
- Гулевський В. Б., Постол Ю. О., Добровенко І. Г.* 28  
Огляд сучасного стану релейного захисту електричних мереж
- Сілі І. І., Азархов О. Ю.* 29  
Дезінфікуючий UV-C мобільний робот

### **КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ**

- Дереза О. О., Дереза С. В.* 30  
Інструменти комунікації для підготовки фахівців АПК
- Холодняк Ю. В., Гавриленко Є. А., Мірошниченко М. Ю.* 31  
Комп'ютерне моделювання криволінійних поверхонь на основі масиву точок
- Лубко Д. В., Шаров С. В.* 32  
Розробка сучасної експертної системи для галузі свинарства у приватних господарствах



- Зінов'єва О. Г.* 33  
Оптимізація технічного обслуговування сільськогосподарської техніки методом імітаційного моделювання
- Лубко Д. В.* 34  
Використання Web-технологій для автоматизації розробки технологічних карт вирощування сільськогосподарських культур



Електронне наукове фахове видання

**Науковий вісник**  
Таврійського державного агротехнологічного університету

Випуск 12, том 3.

Відповідальний за випуск – к.т.н., професор Скляр О. Г.

Комп'ютерна верстка: Комар А. С.

Підписано до друку 28 грудня 2022 р.  
Друкарня ТДАТУ  
18,40 умов. друк. арк.