

РОЗРОБКА ПРОМИСЛОВОГО ЗРАЗКУ ТА ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ СТРУМИННО-ЩІЛИННОГО ГОМОГЕНІЗАТОРА МОЛОКА

Самойчук К. О., д.т.н.,

ORCID: 0000-0002-3423-3510

Серий. І. С., к.т.н.,

ORCID: 0000-0001-5943-7213

Ковальов О. О., аспірант*

ORCID: 0000-0002-4974-5201

Таврійський державний агротехнологічний університет

імені Дмитра Моторного

Тел. (0619) 42-13-06

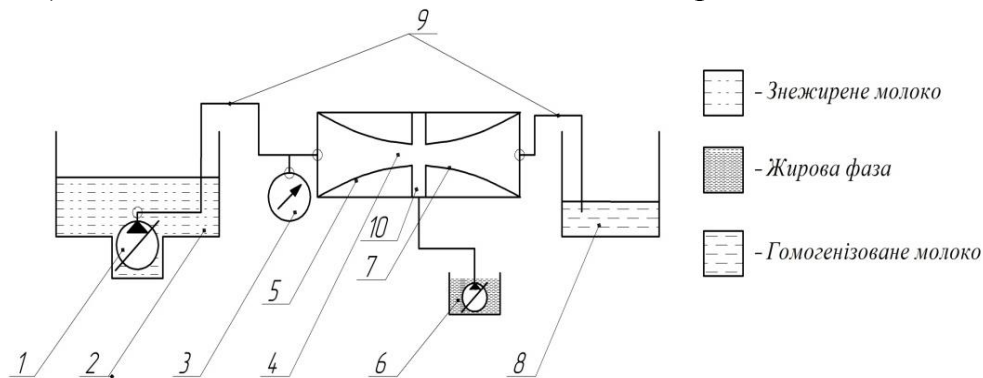
Постановка проблеми. Гомогенізація належить до нормативних процесів, необхідність проведення якої обумовлена великим середнім діаметром жирових кульок в необробленому молоці, що згідно закону Стокса призводить до підйому жирових кульок до поверхні з високою швидкістю та відстоювання молочного жиру на поверхні молока у вигляді плівки з вершків [1, 2]. При проведенні гомогенізації відбувається зменшення середнього діаметра жирових кульок та відбувається їх рівномірний розподіл в об'ємі молочної плазми. Внаслідок цього продукт після гомогенізації має підвищену харчову і поживну цінність, забезпечується усунення неоднорідності кольору, відбувається покращення смакових якостей, знижуються втрати молочного жиру з тарою [2].

Зниження енергетичних витрат на проведення диспергування при одночасному збереженні технологічно заданої величини середнього діаметра жирових кульок є однією з пріоритетних задач для науковців молокопереробної галузі. Необхідність зниження енергетичних витрат на проведення гомогенізації пов'язана з тим, що питомі витрати енергії для найбільш поширених в промисловості клапанних гомогенізаторів складають понад 8 кВт·год/т гомогенізованої молочної емульсії [3].

Аналіз останніх досліджень. Протягом тривалої історії використання диспергування для переробки молочних продуктів досягти суттєвого зниження енергетичних витрат не вдалося. Це пов'язано з відсутністю єдиної теоретичної бази, яка б вичерпно пояснювала процеси, що відбуваються в зоні клапанної щілини. Існує близько 8–10 гіпотез гомогенізації, кожна з яких претендує на роль теорії, однак аналіз кожної з них, наведений у [3, 4] свідчить, що висунуті в них припущення відносно процесів, які відбуваються в зоні клапанної щілини, лише частково пояснює механізми, за якими відбувається зменшення середнього діаметра жирових кульок при

диспергуванні. Відсутність єдиної теоретичної бази процесу пов'язана з необхідністю дослідження мікрочасток, розмір яких наближується до десятих часток мікрометра та з високими швидкостями руху дисперсійної та дисперсної фаз продукту, чисельні значення якої сягають 100–150 м/с [4].

Дослідження перспективних напрямів підвищення енергоефективності процесу диспергування дозволили дійти висновку, що досягти суттєвого зниження енергетичних витрат на проведення гомогенізації можливо за рахунок розробки та впровадження до виробництва конструкцій, принцип дії яких заснований на створенні максимальної різниці між швидкостями руху дисперсійної та дисперсної фаз продукту. Однією з таких конструкцій є лабораторний зразок струминно–щілинного гомогенізатора молока, розроблений на базі кафедри ОПХВ імені професора Ф. Ю. Ялпачика (ТДАТУ), технологічна схема якого наведена на рис.1 [5].



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.

Рис. 1. Схема роботи струминно–щілинного гомогенізатора молока.

При роботі струминно–щілинного гомогенізатора молока попередньо знежирене молоко з ємності 2, відповідно до рис. 1 за допомогою насосу 1 подається по гнучким трубопроводам 9 під тиском, значення якого контролюються за допомогою манометра 3 до місця найбільшого звуження 4, яке створюють профільовані внутрішні поверхні конфузору 5 та дифузору 7. В місці найбільшого звуження до знежиреного молока, яке рухається з високою швидкістю зі спеціальної ємності за допомогою насоса 6 крізь кільцеву щілину 10 подається необхідна кількість вершків. При встановленні режиму розвиненої турбулентності на жирову кульку діють значні тангенційні напруження, які виникають за рахунок дії сил опору руху жирової

кульки. Ці напруження пов'язані з критерієм Вебера, та при перевищенні їх значень над силами міжфазного натягу спричинюють руйнування жирової кульки на декілька утворень меншого розміру. Таким чином розроблений гомогенізатор дозволяє одночасно проводити нормалізацію продукту за жирністю та гомогенізацію, після обробки готовий продукт зливається до ємності 8 [6].

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Для розробки промислового зразку та оцінки ефективності впровадження струминно–щілинного гомогенізатора молока необхідно:

– обрати насоси, які будуть використовуватись для забезпечення подачі необхідної кількості знежиреного молока та вершків, види приводів, які будуть використовуватись для забезпечення роботи насосів, види передач між насосами та їх приводами;

– здійснити вибір компоновання обладнання та запропонувати конструктивне рішення промислового зразка струминно–щілинного гомогенізатора молока;

– згідно прийнятої методики розрахунку оцінити економічну ефективність від впровадження струминно–щілинного гомогенізатора молока у виробництво.

Основна частина. За допомогою методики розрахунку промислового зразка, розроблено струминно-щілинний гомогенізатор молока (продуктивність 1,25 т/год і встановлена потужність 8 кВт) для заміни клапанного гомогенізатора К5-ОГ2А-1.25 (продуктивність 1,25 т/год і встановлена потужність 11 кВт) [4, 7].

Для забезпечення необхідної продуктивності промислового зразка на рівні 1–10 т/год максимальна подача вершків при жирності вершків 40%, жирності нормалізованого молока 3,5%, згідно до рівняння матеріального балансу має дорівнювати 870 кг/год. В якості насоса, що забезпечує подачу вершків обрано шестеренний насос, ВЕ-G20 НР 0.6, який забезпечує продуктивність подачі жирової фази на рівні 1000 кг/год. Для його приводу використовується асинхронний електричний двигун АИРЕ 71 L-2 потужністю 0,55 кВт. Для забезпечення необхідної швидкості подачі знежиреного молока тиск подачі насосу згідно результатів аналітичних та експериментальних досліджень повинен складати для максимальної продуктивності 10 т/год 2,4 МПа. Враховуючи те, що необхідна продуктивність гомогенізатора по знежиреному молоку при жирності вершків 40%, жирності нормалізованого молока 3,5%, згідно до рівняння матеріального балансу має дорівнювати 870 кг/год, для подачі знежиреного молока до камери струминно–щілинного гомогенізатора молока рекомендовано обирати насос об'ємного принципу дії, наприклад, шестеренний насос для харчових продуктів НШП–10, який має максимальну продуктивність на рівні 10 м³/год при робочому тиску до 2,5 МПа. Для приводу харчового насосу подачі знежиреного

молока використовується електричний двигун 3000 с^{-1} АИРС 112 М2 потужністю 7,5 кВт. Для його з'єднання з насосом подачі знежиреного молока, між ним та двигуном встановлюється циліндричний редуктор 1ЦУ-160 з передаточним відношенням 2...2,5 [7].

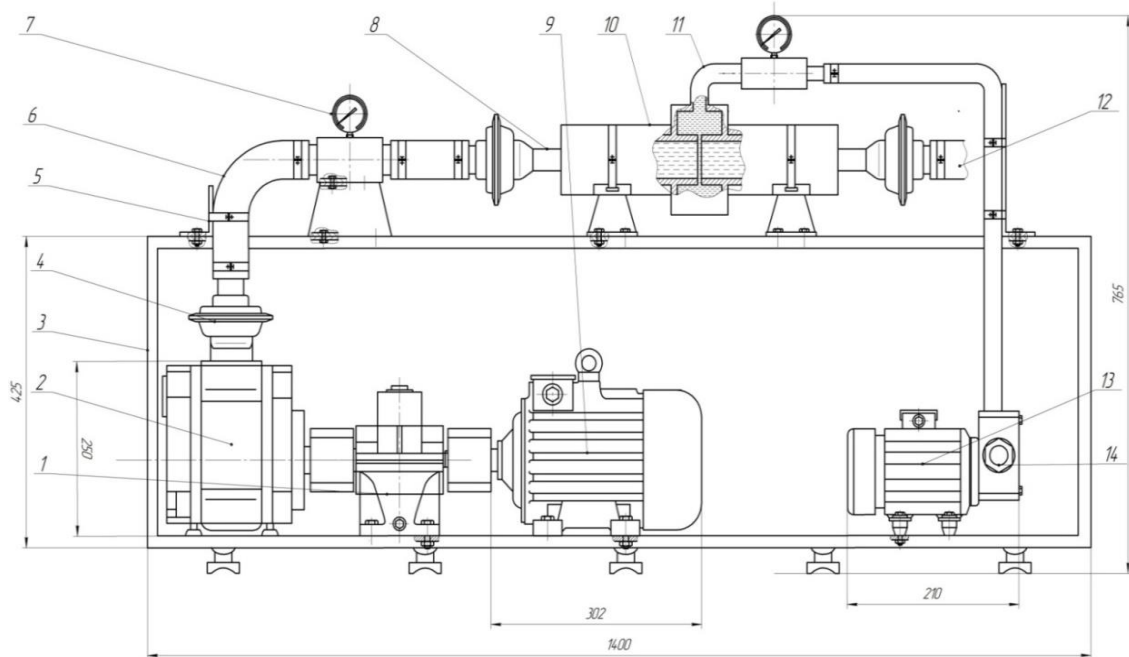
Машина являє собою зварний каркас, в верхній центральній частині якого змонтовано камеру гомогенізації. В нижній частині знаходиться електродвигун приводу обертання шестеренного насоса подачі знежиреного молока, який з'єднується з ним через редуктор. На нижній частині рами розташований і шестеренний насос з двигуном, що забезпечують подачу необхідної кількості вершків. Новизна конструктивних елементів гомогенізатора захищена патентами України [8, 9]. Оскільки розрахунок струминно–щілинного гомогенізатора ґрунтується на критеріальних залежностях класичної гідродинаміки, тому результати випробувань в умовах промислового виробництва у відношенні впливу на якість диспергування конструктивних і технологічних параметрів запропонованої машини не відрізняються від результатів, одержаних при обробці молока на лабораторному зразку струминно–щілинного гомогенізатора молока з роздільною подачею вершків. Варіант конструктивного рішення струминно–щілинного гомогенізатора молока з роздільною подачею вершків, наведений на рис. 2.

Технічна характеристика струминно–щілинного гомогенізатора молока, складена на основі експлуатаційних випробувань, зведена до таблиці 1.

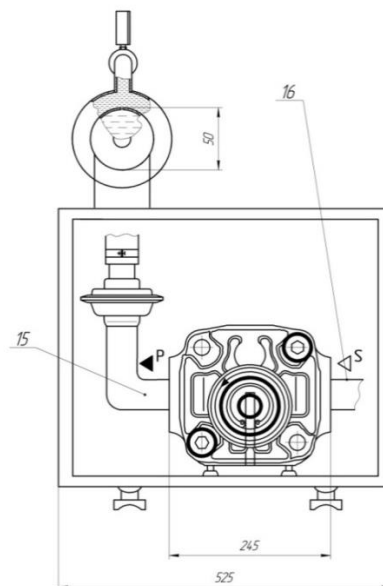
Таблиця 1 – Технічна характеристика промислового зразка струминно–щілинного гомогенізатора молока

Показник	Значення
Продуктивність, т/год	2,5
Середній діаметр часток після обробки молока, мкм	0,80
Потужність електродвигуна приводу, кВт	8,0
Діаметр камери в місці найбільшого звуження, мм	4,0
Ширина кільцевої щілини, мм	0,7
Габаритні розміри, мм:	
– довжина	1400
– ширина	525
– висота	765

В таблиці 2 наведено порівняльну характеристику розробленого гомогенізатора струминно–щілинного типу з клапанним та іншими перспективними видами диспергаторів [10].



а)



б)

1 – циліндричний редуктор 1 ЦУ-160; 2 – насос для подачі знежиреного молока НШП-10; 3 – зварна рама; 4 – з'єднувальний фланець; 5 – кронштейн; 6 – металева труба; 7 – манометр; 8 – патрубок подачі знежиреного молока 9 – електродвигун АИРС 112 М2; 10 – камера гомогенізації; 11 – патрубок подачі вершків; 12 – патрубок відведення гомогенізованої емульсії – патрубок відводу гомогенізованого продукту; 13 – електродвигун АИРЕ 712 L2; 14 – насос подачі вершків ВА-G 20 Н0.6; 15 – подача вершків; 16 – нагнітання вершків до камери гомогенізації;

Рис. 2. Промисловий зразок струминно-щілинного гомогенізатора молока: а) головний вид, б) бічний вид (з правого боку).

Таблиця 2 – Порівняльна характеристика перспективних типів гомогенізаторів

Тип гомогенізатора	Продуктивність, т/год	Мінімальний діаметр часток після гомогенізації, мкм	Питомі енерговитрати, кВт/т
Клапанний, А1-ОГ2М-2,5	2,5	0,75	7,2
Клапанний К5-ОГА 10	10	0,8	7,4
Сопловий, ОГВ	1	1,0	4,4
Вихровий	5	0,77	3,8
Імпульсний	1	0,7	4
Протитечійно-струменевий	2	0,75	2,8
Струминний гомогенізатор з роздільною подачею вершків	2,5	0,8	0,8
Струминно-щілинний гомогенізатор	2,5	0,8	0,74

Впровадження струминно-щілинного гомогенізатора молока в технологічних лініях виробництва молока та молочної продукції відрізняється від використання клапанних машин можливістю одночасного проведення гомогенізації та нормалізації. Недоліком такого способу є необхідність проведення попередньої сепарації молока. Однак, враховуючи те, що ця операція використовується для більшості технологій виробництва питного молока, впровадження такого рішення дозволяє досягти зниження питомих витрат енергії порівняно з енергоефективними конструкціями струминних гомогенізаторів ще на 15%.

В технологічних процесах переробки молочної продукції переважної більшості спеціалізованих підприємств України для диспергування застосовуються клапанні гомогенізатори Одеського механічного заводу типів К5-ОГА, А1-ОГ2М, К5-ОГ2А. Розроблена конструкція струминно-щілинного гомогенізатору здатна замінити такі диспергатори для виробництва питного молока в діапазоні жирності 2,5 – 3,5% та може бути використана при переробці кисломолочних продуктів та емульсій жирністю до 3,5%. Оцінити

економічну ефективність використання розробленого струминно–щілинного гомогенізатора молока для заміни диспергатора К5-ОГ2А-1.25, який використовується на приватному підприємстві "Молокозавод-ОЛКОМ" (м. Мелітополь Запорізької області). Для розрахунку скористаємось загальноприйнятою методикою [10].

Розрахунок ґрунтується на даних приватного підприємства «Молокозавод-ОЛКОМ», на якому здійснено впровадження, що підтверджує відповідний акт. Вартість та енергетичні витрати розробленої моделі ґрунтуються на даних товариства з обмеженою відповідальністю «Продмаш» (м. Мелітополь Запорізької області) та підтверджуються характеристиками акту передачі технологічно–конструкторської документації. Отримані результати зведені до таблиці 3.

Таблиця 3 – Порівняльні техніко-економічні показники струминно–щілинного гомогенізатора молока та клапанного гомогенізаторів

Найменування показника	Значення показників техніко-економічної ефективності	
	Клапанний гомогенізатор К5-ОГ2А-1,25	Розроблений гомогенізатор
Питомі капіталовкладення, грн/т	141,30	19,50
Ступінь зниження питомих витрат електроенергії, %	–	59,00
Ступінь зниження експлуатаційних витрат	–	40,00
Приведені витрати, грн/т	73,66	44,26
Економічний ефект на одну тонну молочної продукції, грн/т	–	29,40
Річний економічний ефект, грн	–	238350,00
Строк окупності, рік	–	0,36

Струминно–щілинний гомогенізатор, згідно результатів аналізу даних, наведених в таблицях 1, 2, 3 характеризується меншими питомими витратами електроенергії, більшою зручністю в експлуатації та ремонті, нижчими масо-габаритними показниками.

Наявність таких переваг при використанні струминно–щілинного гомогенізатору для гомогенізації молока дозволяє підвищити її конкурентоспроможність, що досягається за рахунок зниження собівартості одиниці молочної продукції [11].

Висновки. З метою підвищення енергоефективності процесу диспергування молочних емульсій на молокопереробних підприємствах розроблено промисловий зразок струминно–щілинного гомогенізатора молока. Подачу вершків рекомендується забезпечувати за допомогою харчового шестеренного насоса BE-G20 HP 0.6 з приводом від електричного двигуна АИРЕ 71 L-2. Для забезпечення подачі необхідної кількості знежиреного молока в заданому діапазоні продуктивності 1–10 т/год рекомендується встановлювати шестеренний насос для харчових продуктів НШП–10, після якого має розташовуватись редуктор 1ЦУ-160, що приводяться до дії за допомогою електричного двигуна 3000 с^{-1} АИРС 112 М2 потужністю 7,5 кВт.

Проведений економічний аналіз свідчить, що використання замість клапанного гомогенізатора К5-ОГ2А-1,25 струминно–щілинного гомогенізатора молока, та впровадження в виробництво на приватному підприємстві «Молокозавод-ОЛКОМ», довели зниження питомих енергетичних витрат процесу диспергування на 59%. Суттєве підвищення ефективності диспергування жирової фази молока та відсутність в конструкції струминно–щілинного гомогенізатору швидкозношуваних механізмів, обумовили зниження експлуатаційних витрат на 40%. Характеристики струминно–щілинного гомогенізатора молока дозволяють досягти при його використанні річного економічного ефекту на рівні 238350 грн при цьому термін його окупності не перевищує 0,36 роки.

Література:

1. Чекулаева Л. В. Стущённые молочные консервы. Москва: Лёгкая и пищевая промышленность, 1982. 264 с.
2. Бредихин С. А. Технология и техника переработки молока. Москва: Колос, 2003. 400 с.
3. Фиалкова Е. А. Гомогенизация. Новый взгляд: монография–справочник. Санкт-Петербург: ГИОРД, 2006. 392 с.
4. Walstra P. Homogenization. In: Dairy Science and Technology. London New York. 2006. P. 279.
5. Самойчук К. О. Експериментальні дослідження параметрів струминного гомогенізатора молока з роздільною подачею вершків щільового типу. *Праці ТДАТУ*. Мелітополь, 2019. Вип.19, т. 2. С. 117-129.
6. Самойчук К. О. Аналітичні дослідження енергетичних показників і параметрів якості струминно-щільового гомогенізатора молока. *Праці ТДАТУ*. Мелітополь, 2019. Вип. 19, т. 1. С. 3-18.
7. Walstra P. Dairy technology: Principles of Milk Properties and Processes. Part II: Processes. New York: Marcel Dekker, Inc., 1999. 246 p.
8. Струминний гомогенізатор молока з роздільною подачею

вершків: пат. 106522 Україна: МКИ5 А01J 11/16. № u201511244; заявл. 16.11.15; опубл. 25.04.2016. Бюл. № 8.

9. Струминний гомогенізатор молока з роздільною подачею вершків: пат. 131218 Україна: МПК А01J 11/16. № u201807062; заявл. 23.06.2018; опубл. 10.01.2019. Бюл. № 1.

10. Самойчук К. О. Розвиток наукових основ гідродинамічного диспергування молочних емульсій: автореф. дис ... докт. техн. наук: 05.18.12. Харків, 2018. 44 с.

11. Самойчук К. О. Оптимізація експериментальних параметрів та визначення експериментального значення критерію Вебера струминно-щілинного гомогенізатора молока. *Праці ТДАТУ*. Мелітополь, 2019. Вип. 19, т. 3. С. 78–85.

РОЗРОБКА ПРОМИСЛОВОГО ЗРАЗКУ ТА ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ СТРУМИННО-ЩІЛИННОГО ГОМОГЕНІЗАТОРА МОЛОКА

Самойчук К. О., Серий І. С., Ковальов О. О.

Анотація

У статті відображені результати розробки промислового зразка струминно-щілинного гомогенізатора молока. Обґрунтовано вибір насосів для забезпечення заданої продуктивності при одночасному забезпеченні необхідного тиску подачі знежиреного молока та вершків, вибір передач між насосами та двигунами приводу насосів для подачі знежиреного молока та вершків, вибір електричних двигунів для приводу насосів подачі дисперсійної та дисперсної фаз продукту. Наведено конструктивну схему промислового зразка струминно-щілинного гомогенізатора молока. Представлено технічні характеристики та порівняльну характеристику розробленого промислового зразка струминно-щілинного гомогенізатора молока, яка свідчить про 1,2–10 разове зниження енергетичних витрат на проведення диспергування. Проведено аналіз техніко-економічних показників клапанного диспергатора та розробленого промислового зразка струминно-щілинного гомогенізатора молока, який свідчить про те, що впровадження розробленого устаткування дозволило досягти зниження експлуатаційних витрат на 40%, зниження енергетичних витрат на проведення диспергування на 59%, при цьому річний економічний ефект від впровадження струминно-щілинного гомогенізатора молока замість клапанного гомогенізатора склав 238350 грн, при цьому термін його окупності не перевищує 0,36 роки.

Ключові слова: середній діаметр, гомогенізатор, струминно-щілинний, молоко, форма камери, енергетичні витрати, промисловий зразок, жирова кулька.

РАЗРАБОТКА ПРОМЫШЛЕННОГО ОБРАЗЦА И ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ СТРУЙНО-ЩЕЛЕВОГО ГОМОГЕНИЗАТОРА МОЛОКА

Самойчук К. О., Серый И. С., Ковалев А. А.

Аннотация

В статье отражены результаты разработки промышленного образца струйно-щелевого гомогенизатора молока. Обоснован выбор насосов для обеспечения заданной производительности при одновременном обеспечении

необходимого давления подачи обезжиренного молока и сливок при проведении нормализации молочных продуктов по жирности. Обоснован выбор передач между насосами и двигателями привода насосов для подачи обезжиренного молока и сливок. Обоснован выбор электрических двигателей для привода насосов подачи дисперсионной и дисперсной фаз продукта. Приведена конструктивная схема промышленного образца струйно–щелевого гомогенизатора молока, техническая документация на изготовление которого передана в ООО «Продмаш» (г. Мелитополь). Представлены технические характеристики разработанного промышленного образца струйно–щелевого гомогенизатора молока с отдельной подачей жировой фазы. Представлена сравнительная характеристика разработанного промышленного образца струйно–щелевого гомогенизатора молока, которая свидетельствует о 1,2–10 разовом снижении энергетических затрат на проведение диспергирования, что объясняется снижением рабочих давлений подачи дисперсионной и дисперсной фаз продукта. Проведен анализ технико–экономических показателей клапанного диспергатора и разработанного промышленного образца струйно–щелевого гомогенизатора молока, который свидетельствует о том, что внедрение разработанного оборудования, которое проводилось на ЧП «ОЛКОМ» позволило добиться снижения эксплуатационных расходов на 40%, снижение энергетических затрат на проведение диспергирования на 59%, при этом годовой экономический эффект от внедрения струйно–щелевого гомогенизатора молока вместо клапанного гомогенизатора составил 238350 грн, при этом срок его окупаемости не превышает 0,36 года.

Ключевые слова: средний диаметр, гомогенизатор, струйно-щелевой, молоко, форма камеры, энергетические затраты, промышленный образец, жировой шарик.

DEVELOPMENT OF AN INDUSTRIAL DESIGN AND EVALUATION OF ECONOMIC EFFICIENCY FROM THE INTRODUCTION OF A JET-SLOT MILK HOMOGENIZER

K. Samoichuk, I. Seriy, A. Kovalyov

Summary

A study of perspective directions of increase of efficiency of the dispersion process resulted in the conclusion that to achieve a significant reduction in the energy cost of homogenization is possible due to the development and introduction into production of structures whose operation is based on creating the maximum difference between the velocity dispersion and the dispersed phase of the product. In the article reflects the results of the development of an industrial sample of a jet-slotted milk homogenizer. The choice of pumps to ensure the specified performance while simultaneously providing the necessary pressure for the supply of skimmed milk and cream during the normalization of dairy products with fat content is justified. The choice of gears between pumps and drive motors of pumps for the supply of skimmed milk and cream is justified. The choice of electric motors for the drive of pumps for the supply of the dispersion and dispersed phases of the product is justified. The design scheme of an industrial sample of a jet–slot milk homogenizer, technical documentation for the production of which was transferred to Prodmas LLC (Melitopol), is given. The technical characteristics of the developed industrial sample of a jet-slot milk homogenizer with a separate fat phase feed are presented. A comparative characteristic of the developed industrial sample of a jet–slotted milk homogenizer is presented, which indicates a 1.2-10-time reduction in energy costs for dispersion, which is

explained by a decrease in the working pressure of the dispersion and dispersed phases of the product. The analysis of technical and economic parameters of the valve of the dispersant and developed the industrial design of the jet slit homogenizer milk, which suggests that the introduction of the developed equipment, which was carried out on PE "OLKOM" has allowed reducing operating costs by 40%, reducing energy costs in the dispersion of 59%, while the annual economic effect from the introduction of the jet slit homogenizer, milk homogenizer valve is made up UAH 238350 the payback period does not exceed 0,36 year.

Key words: average diameter, homogenizer, jet-slotted, milk, chamber shape, energy costs, industrial design, fat ball.