

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕРОВКИ МОЛОКА ЗА  
РАХУНОК РОТОРНО-ДИНАМІЧНИХ ГОМОГЕНІЗАТОРІВ  
МОНОБЛОЧНОГО ВИКОНАННЯ**

*А.О. Євтушенко, канд. техн. наук, професор;*

*В.В. Коломієць, студент;*

*М.С. Овчаренко, аспірант;*

*А.А. Папченко, канд. техн. наук, доцент,*

*Сумський державний університет, м. Суми*

*У статті розглянута можливість використання роторно-динамічних гомогенізаторів для удосконалення технології переробки молока шляхом інтенсифікації процесу гомогенізації. Проведено інформаційний огляд конструктивних схем гомогенізаторів. Висвітлено їх переваги та недоліки. Обґрунтована можливість використання математичної моделі для розрахунку енергетичних характеристик агрегату. Наведено результати експериментальних випробувань обладнання з різними конструктивними параметрами при змінному напрямку обертання.*

**Ключові слова:** *теплогенеруючий агрегат, гомогенізатор, багатofункціональне призначення, робоче колесо.*

*В статті рассмотрена возможность использования роторно-динамических гомогенизаторов для усовершенствования технологии переработки молока путем интенсификации процесса гомогенизации. Проведен информационный обзор конструктивных схем гомогенизаторов. Рассмотрены их преимущества и недостатки. Обоснована возможность использования математической модели для расчета энергетических характеристик агрегата. Приведены результаты экспериментальных испытаний оборудования с различными конструктивными параметрами при переменном направлении вращения.*

**Ключевые слова:** *теплогенерирующий агрегат, гомогенизатор, многофункциональное назначение, рабочее колесо.*

На сьогоднішній день в існуючих умовах ринкової економіки кожна галузь будь-якого виробництва прагне до максимального здешевлення своєї продукції зі збереженням її якості та властивостей. Для реалізації таких програм необхідно оснащення підприємств сучасною технікою, створення принципово нових технологій, що забезпечують комплексну безвідхідну переробку сировини, і організацію виробництва екологічно безпечних, біологічно повноцінних комбінованих продуктів харчування з урахуванням потреб різних вікових груп і стану здоров'я населення.

У харчовій, як і в багатьох інших галузях промисловості, досить поширені процеси гомогенізації та диспергування (приготування десертів, морозива, паст, напоїв, майонезів, а також широкого спектра напівфабрикатів). Обладнання, що використовується на сьогоднішній день, у більшості випадків є морально застарілим і не відповідає принципам енергоефективності. Тому завдання вдосконалення існуючих конструкцій є безумовно актуальним.

У технології переробки молока суть процесу гомогенізації полягає в подрібненні жирових кульок до стану, коли масова частка жиру приблизно врівноважується оболонкою жирової кульки. При цьому жирова кулька перебуває в стабільному колоїдному стані. Величина кульки становить приблизно 1 мкм. Гомогенізацію молока в більшості випадків реалізують за допомогою плунжерних гомогенізаторів клапанного типу (рис. 1) [1], в яких молоко під дією великих тисків (15-20 МПа), продавлюються через вузькі щілини. У результаті таких

навантажень велика жирова кулька витягується і розпадається на безліч дрібних. Після проведення інформаційного огляду і детального вивчення особливостей експлуатації встановлено, що такий пристрій задовольняє необхідні технологічні показники, але має високу метало- та енергоємність конструкції. Крім цього, плунжерний гомогенізатор працює з постійною подачею і позбавлений можливості її регулювання, що для багатьох технологічних процесів є неприйнятним.

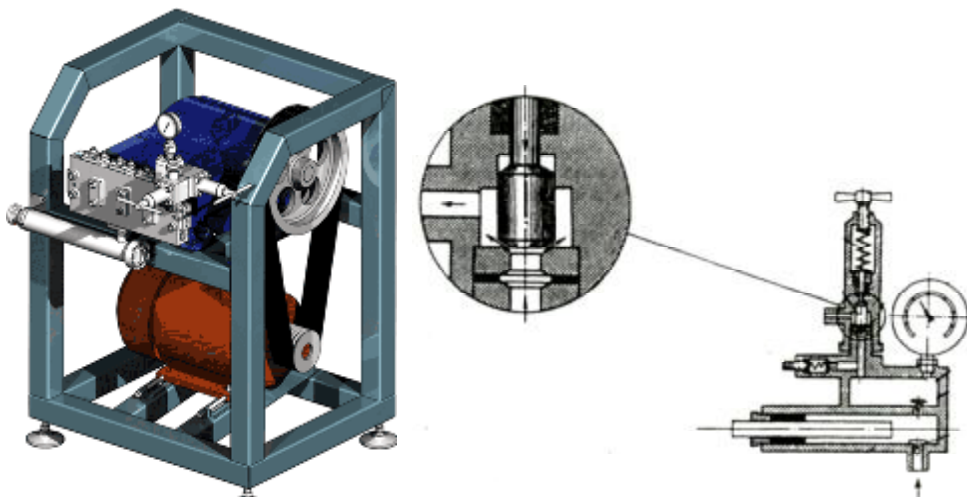


Рисунок 1 – Плунжерний гомогенізатор та гомогенізуюча головка

Нині існує велика різноманітність конструктивних схем роторних гомогенізаторів вітчизняного і закордонного зразків, проте досить гострою залишається проблема доступності та здешевлення цього виду машин зі збереженням необхідних якостей і властивостей вихідного продукту.

Передумовою розвитку зазначеного напрямку було створення та промислові випробування вихрових гомогенізаторів [2] для різних технологічних процесів:

- гомогенізація майонезів (ТОВ «Завод продтоварів», Сумська обл., ТОВ «Авіс», Вінниця);
- гомогенізація соків (ТОВ «Феміда-Інтер». Луцьк);
- гомогенізація водно-жирових сумішей під час виробництва маргаринів та сирів (ТОВ «Авіс», Луцьк, ТОВ «Моліс», Запорізька обл.);
- гомогенізація лаків та фарб (ТОВ «Імпульс», Суми);
- гомогенізація біодобавок (ТОВ «Кронос», ТОВ «Біохем»).

Попередні випробування довели, що для ряду технологій вихрові гомогенізатори (рис. 2) забезпечують отримання відповідних нормативних параметрів, але для деяких технологій ступінь однорідності кінцевого продукту вимагає інтенсифікації процесу гомогенізації.

Здешевлення подібних технічних систем та підвищення їх надійності за інтенсифікації процесу гомогенізації можуть бути досягнуті за рахунок використання роторно-динамічного гомогенізатора моноблочного виконання (рис. 3).

Методики розрахунку зазначених агрегатів та методи прогнозування їх робочих характеристик суттєво ускладнюються і можуть бути отримані лише на підставі ґрунтовних досліджень і глибокого аналізу робочого процесу таких машин.

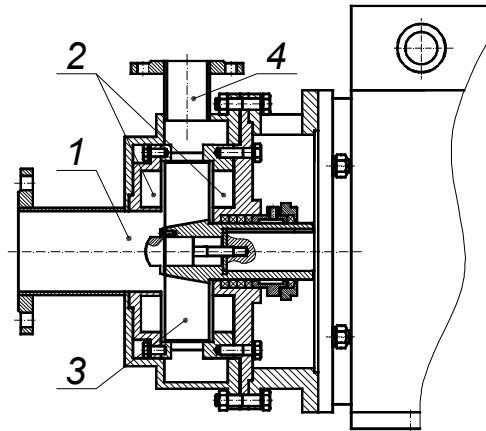


Рисунок 2 – Вихровий теплогенеруючий агрегат-гомогенізатор

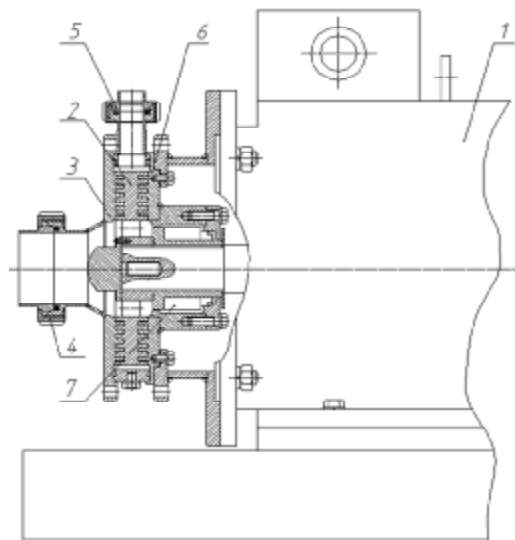


Рисунок 3 – Роторно-динамічний гомогенізатор

На стадії проектування за машину аналога обрали багатофункціональний теплогенеруючий агрегат (ТГА) для спиртового виробництва [3], розроблений на кафедрі прикладної гідроаеромеханіки Сумського державного університету (ПГМ СумДУ).

На етапі проектування проточної частини роторно-динамічного гомогенізатора був проведений попередній розрахунок параметрів проточної частини та проаналізований їх вплив на споживану потужність агрегату згідно з методикою [4]:

$$N = k_N \rho n^3 d^4 ,$$

де  $N$  – втрати потужності, Вт;

$k_N$  – критерій потужності, який залежить від конструктивних параметрів, витрат і фізико-хімічних властивостей середовища;

$\rho$  – густина середовища, кг/м<sup>3</sup>;

$l$  – лінійний розмір, що характеризує геометрію потоку, м;  
 $n$  – частота обертання ротора, об/с;  
 $d$  – зовнішній діаметр ротора, м.

$$k_N = 37.5 Re_u^{-0.3} \left[ \left( \frac{b_p z_p}{d} \right)^{0.7} + \left( \frac{b_c z_c}{d} \right)^{0.7} \right] \left( 1 + 7.2 \frac{Q}{\pi d b_c z_c l_c} \right) \left( \frac{h}{d} \right)^{0.2},$$

де  $Re_u$  – відцентровий критерій Рейнольдса;

$b_p$  – ширина прорізів ротора, м;

$b_c$  – ширина прорізів статора, м;

$z_p$  – кількість прорізів ротора;

$z_c$  – кількість прорізів статора;

$l_c$  – висота прорізів статора, м;

$Q$  – витрата гомогенізатора, м<sup>3</sup>/с;

$h$  – величина зазору між зубцями статора і ротора, м.

Конструктивно гомогенізатор є проточною частиною, що складається з робочого колеса двостороннього входу 2 із радіальними концентричними кільцями, яке кріпиться безпосередньо на валу двигуна (моноблочна схема) і обертається між статорними кільцями відповідно переднього 3 і заднього 6 дисками (рис. 4). Для запобігання витоків робочої рідини передбачене торцеве ущільнення 7. Рідина надходить у проточну частину агрегату і виходить з неї через з'єднувальні муфти 4 і 5 відповідно. Проточна частина машини кріпиться до приводного асинхронного електродвигуна 1.



Рисунок 4 – Робоче колесо, передній та задній статори

На базі попередньо виконаних розрахунків на кафедрі ПГМ СумДУ виготовлений експериментальний зразок гомогенізатора.

Проведено експериментальні випробування цього агрегату, які передбачали декілька етапів:

– визначення насосної та енергетичної характеристик гомогенізатора;

– визначення ефективності гомогенізації молока.

Експериментальна характеристика роторно-динамічного гомогенізатора була визначена шляхом проведення фізичного експерименту на стенді кафедри ПГМ СумДУ (рис. 5).

До основного обладнання експериментального стенда входить бак 1, який всмоктувальною та напірною трубами з'єднаний з проточною частиною гомогенізатора 2. Для визначення тиску перед гомогенізатором та за ним встановлено манометри 4 і 5. Подача визначалася за допомогою ультразвукового витратоміра 6, встановленого на всмоктувальному трубопроводі, її регулювання здійснювалося за допомогою засувки 3. Електрична потужність визначалася залежно від величини витрати рідини, яка проходить через проточну частину агрегату проводилося згідно вимог [5].

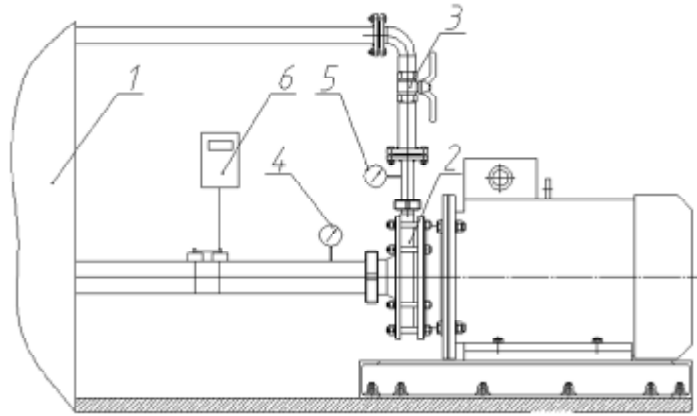


Рисунок 5 – Стенд визначення насосної характеристики гомогенізатора

На рис. 6 наведено енергетичну та напірну характеристики при різній ширині прорізів робочого колеса та статорних дисків за умов прямого та зворотного обертання ротора. При збільшенні ширини прорізів відбувається як підвищення продуктивності, так і потужності, що споживається агрегатом.

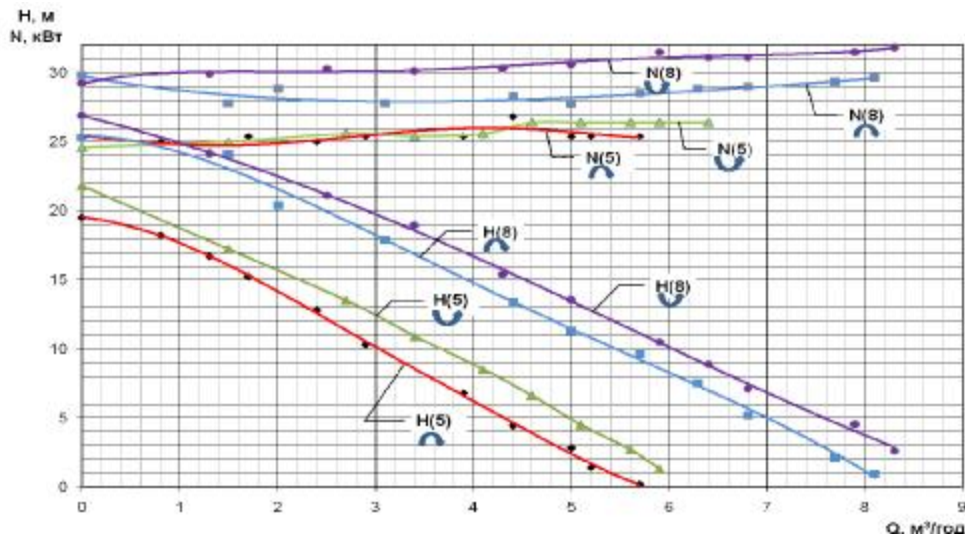


Рисунок 6 – Експериментальні характеристики роторно-динамічного гомогенізатора

На цей час проводяться випробування машини (рис. 7) безпосередньо в умовах промислового виробництва на ТОВ «Добряна», м. Суми, після чого буде виконано оцінку ефективності змішування компонентів робочого середовища за рахунок дослідження гранулометричного складу в лабораторних умовах.



*Рисунок 7 – Роторно-динамічний гомогенізатор*

Перевагою такого агрегату, порівняно з іншими конструктивними пристроями для переробки і гомогенізації молока, є також реалізація різних факторів впливу на оброблюваний продукт:

- механічна дія робочих частин апарата на потік молока, що призводить до його турбулізації, виникнення великих градієнтів зсувних напруг, зрізаючих зусиль;

- відбувається акустичний вплив на потік оброблюваного середовища, що виражається у виникненні пульсацій динамічного тиску, інтенсивної гідродинамічної та акустичної кавітації, гідравлічних ударів, вторинних нелінійних акустичних ефектів;

- у результаті дисипації частини підведеної енергії в тепло, особливо в радіальних зазорах між роторним і статорними елементами машини, відбувається нагрівання молока, що підвищує раціональність затраченої енергії.

## **SUMMARY**

### **IMPROVEMENT OF MILK PROCESSING TECHNOLOGY DUE TO MONOBLOC PERFORMANCE OF ROTARY DYNAMIC HOMOGENIZERS**

*AA Yevtushenko, VV Nikita, MS Ovcharenko, AA Papchenko,  
Sumy State University, Sumy*

*The article considers the possibility of using rotary dynamic homogenizers to improve the technology of processing of milk by the intensification of the process of homogenization. The analysis of the benefits of using this equipment. Completed preliminary calculation of the aggregate power consumption based on the method of calculation, selected the optimum size of working bodies of the flow. We present a constructive scheme homogenizer is shown obtained experimental characterization of the unit.*

**Key words:** hot generation aggregate, homogenizer, multipurpose appointment, the coordination of characteristics.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Курочкин А.А. Технологическое оборудование для переработки продуктов животноводства / А.А. Курочкин, В.В. Лященко; под ред. В.М. Баутина. – М.: Колос, 2001. – 440 с.
2. Євтушенко А.О. Розробка багатофункціонального теплогенеруючого агрегату-гомогенізатора для приготування біологічних добавок / Євтушенко А.О., Ковальов С.Ф., Овчаренко М.С., Папченко А.А. // Вестник национального технического университета Украины «КПИ». Серия "Машиностроение". – 2007. – 53с.
3. Ковальов С.Ф. Багатофункціональні теплогенеруючі агрегати та їх використання для перспективних технологій спиртового виробництва // Вісник Східноукраїнського національного університету. - 2007. - №3(109), Ч.1.– С. 124-128.
4. Барам А.А. Расчет мощности аппаратов роторно-пульсационного типа / Барам А.А., Дерко П.П., Клоцунг Б.А. // Химическое и нефтяное машиностроение. - 1978. - №4. - С. 5-6.
5. ГОСТ 6134-87. Насосы динамические, методы испытаний. - Введ.01.01.89. - М.: Изд-во стандартов, 1988. - 29 с.

*Надійшла до редакції 5 травня 2005 р.*