

**М.Шинкарик<sup>1</sup>, канд. техн. наук; В.Ворошук<sup>1</sup>;  
Г.Єресько<sup>2</sup>, докт. техн. наук; С.Кимачинський<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя,

<sup>2</sup>Технологічний інститут молока і м'яса Української аграрної академії наук

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАТРАТ ПОТУЖНОСТІ В ПАРИ РОТОР-СТАТОР У РОТОРНО-ВИХРОВИХ ЕМУЛЬСОРАХ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ КОМПОЗИЦІЙНИХ ПРОДУКТІВ НА БАЗІ СИРУ ДОМАШНЬОГО**

*Розроблено експериментальну установку для дослідження робочих характеристик приводу роторно-вихрового емульсора. Досліджено затрати потужності на механічну обробку композиційних продуктів на базі сиру домашнього в роторно-вихрових емульсорах в залежності від числа обертів ротора і реологічних характеристик продукту. Встановлено вплив механічної обробки на мікроструктуру досліджуваного продукту. Встановлено питомі затрати механічної енергії на обробку продукту при різних числах обертів ротора. Показано основні закономірності процесу.*

**M. Shynkaryk, V. Voroshchuk, G. Eresko, S. Kymachynsky**

## **INVESTIGATION POWER CONSUMPTION IN COUPLE ROTOR- STATOR IN ROTOR-VORTEX EMULSIFIER BY PRODUCTION COMPOSITIONS PRODUCTS ON BASE CURDS**

*Experimental installation for research into characters drive rotor-vortex emulsifier. Consumer power for machining composition food products on basis cottage cheese in rotor-vortex emulsifier in dependence of quality revolutions and reological characters product has been research. Influence machining on the microstructure researcher product has been install. Specific quality mechanical energy for processing product by different quality revolutions rotor has been install. Fundamental conformities process has been show.*

Кисломолочний домашній сир завжди користувався попитом як дієтичний продукт. Виробництво на його основі композиційних продуктів дозволяє значно збільшити їх споживчу вартість і в багатьох випадках віднести до функціональних. Технологія виготовлення таких продуктів передбачає забезпечення рівномірності консистенції і збільшення тривалості споживчої придатності.

Апаратурне забезпечення технологічного процесу виробництва включає комплект технологічного обладнання для виробництва сиру домашнього, а також комплект технологічного обладнання для механічної і теплової обробки кінцевої суміші. Серед спеціалізованих апаратів для вироблення композиційних продуктів можна виділити апарати двох типів: апарати типу "Штефан" і апарати з роторно-вихровим пристроєм. Сьогодні широке застосування для змішування компонентів, гомогенізації і теплової обробки знайшли роторно-вихрові емульсори [1,2,3].

Конструктивною особливістю роторно-вихрових емульсорів є наявність пари ротор-статор, що забезпечує механічну обробку продукту, рівень якої визначається затраченою потужністю.

Дослідження механічної обробки сиркових мас в емульсорах різного типу приведені в ряді публікацій [2,3]. Встановлено, що затрати потужності визначаються конструктивними особливостями апарату і характеристиками оброблюваного продукту. Очевидно, що механічна обробка продукту визначається конструкцією робочих органів апарату, тому результати, отримані для апаратів різних конструкцій не є адекватними. Особливістю обробки композиційних продуктів на базі сиру домашнього є зміна їх реологічних характеристик в процесі обробки [4], що також впливає на затрати потужності.

Метою досліджень було визначення затрат потужності в парі ротор-статор і встановлення її залежності від основних технологічних параметрів роботи емульсора.

Дослідження проводили для продукту “Десерт кисломолочний солоний” (ТУ У 46.39.ГО.002-94) та “Продукт кисломолочний з фруктовими ягідними і смаковими наповнювачами” (ТУ 49 832-81).

Схема експериментальної установки представлена на рисунку 1. Основними елементами установки є: робоча місткість з сорочкою 4, ротор (турбінка) 2 зі статором 3, циркуляційний трубопровід 6 і трилопатева скребкова мішалка 5 з індивідуальним приводом. Теплова обробка продукту здійснюється в робочій місткості 1 через теплообмінну сорочку 4. Для запобігання пригару продукту використовується скребкова мішалка 5.

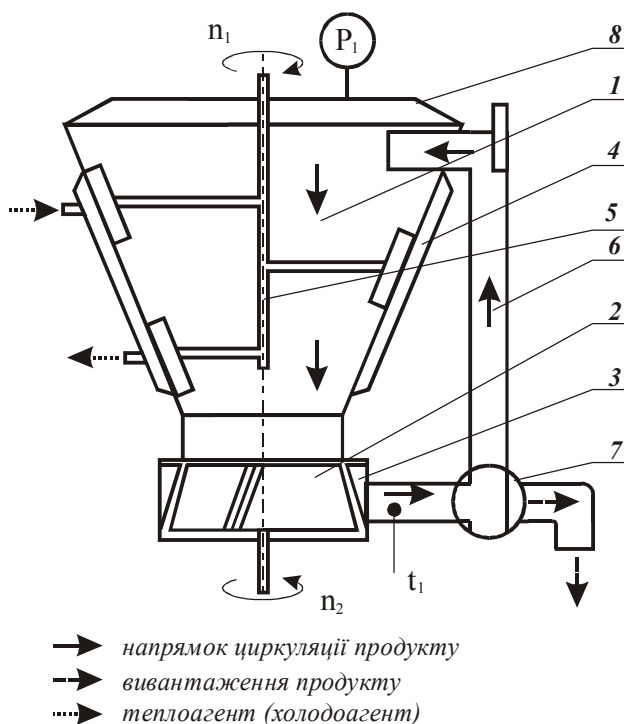


Рисунок 1 – Схема експериментальної установки: 1 - робоча місткість; 2 - ротор; 3 – статор; 4 - сорочка; 5 - скребкова мішалка; 6 - циркуляційний трубопровід; 7 - триходовий кран; 8 - кришка

Подрібнення і перемішування продукту проходить на поверхнях скребкова мішалка-корпус робочої місткості і статор-ротор; циркуляція продукту забезпечується парою статор-ротор.

Ротор виконано у вигляді конічної шестерні із числом зубів 12, розміщених під кутом. Максимальний зазор між статором і ротором становить 5мм, мінімальний – 0,4мм.

Для забезпечення ефекту перетирання і транспортування продукту в статорі також передбачено 12 коаксіальних пазів.

Привід здійснювався від електродвигуна з регульованим числом обертів. Для керування приводом і вимірювання потужності використовували комп'ютеризовану систему на базі контрольно-управляючої системи фірми Lenze, підключеної до електродвигуна приводу ротора.

Дослідження виконувались наступним чином. На керуючому приладі встановлювалась необхідна частота обертання ротора, після чого вмикався привід роторно-вихрового механізму і здійснювався замір витраченої потужності при роботі без навантаження. Далі в робочу місткість завантажували рецептурну суміш, до якої входили сир домашній, вода, пектин (желатин, крохмаль), цукор і наповнювачі, що представляють окремі фракції, не зв'язані між собою.

Заміри потужності і контроль частоти обертання ротора емульсора проводились в процесі нагрівання, витримування і охолодження продукту при заданому числі обертів ротора. Також здійснювався контроль температури суміші.

Продукт, охолоджений до температури 50°C, вивантажувався з установки. Дослідження проводились при зміні частоти обертання  $n$  ротора емульсора від 1000 об/хв. до 3000 об/хв.

При проведенні досліджень спостерігалось транспортування продукту при частотах обертів двигуна 2000 об/хв і більше. При частотах обертання електродвигуна 1000 об/хв і 1500 об/хв транспортування продукту по контуру роторно-вихрового емульсора досягти не вдалось.

На рисунку 2 представлено зміну крутного моменту  $M_{кр}$ , затраченого на транспортування і гомогенізацію композиційного продукту в процесі обробки в парі ротор-статор при різному числі обертів ротора.

На наведених графіках затрат механічної енергії умовно можна виділити три ділянки.

Ділянка I. Швидке зменшення крутного моменту.

Ділянка II. Повільне зростання в часі крутного моменту до досягнення сумішшю температури желювання.

Ділянка III. Значне, досить швидке зростання крутного моменту. Дана ділянка відповідає нагріванню продукту до температури пастеризації та охолодження до 50°C.

Точка А (рисунок 2, 3) відповідає завершенню процесу обробки.

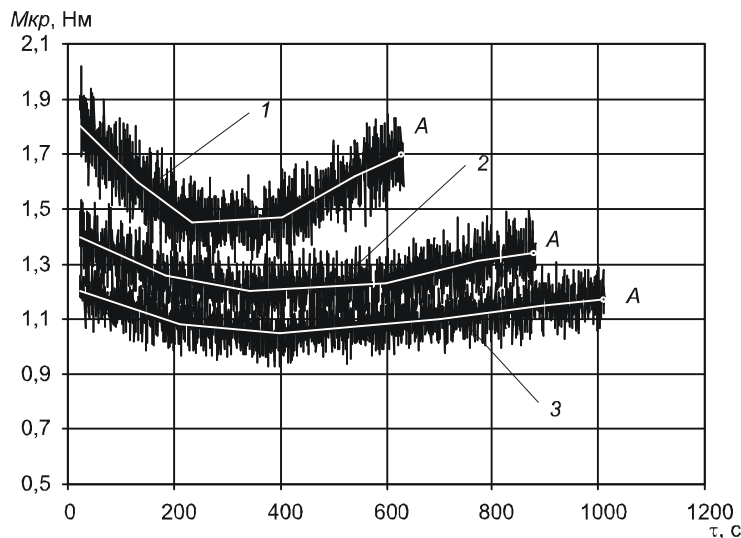


Рисунок 2 – Зміна крутного моменту ротора в процесі обробки композиційного продукту при різних значеннях числа обертів ротора: 1 - при частоті обертання ротора 3000 об/хв; 2 - при частоті обертання ротора 2500 об/хв; 3 - при частоті обертання ротора 2000 об/хв; А - завершення процесу обробки

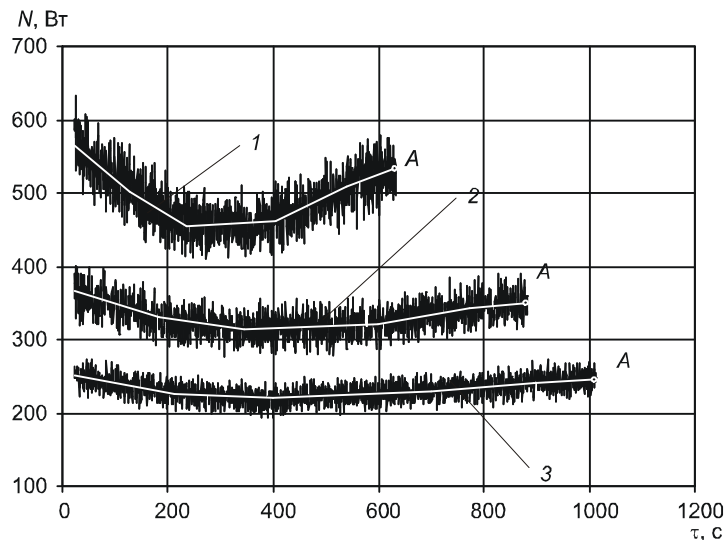


Рисунок 3 – Зміна потужності на привід ротора в процесі обробки композиційного продукту:  
 1 - при частоті обертання ротора 3000 об/хв; 2 - при частоті обертання ротора 2500 об/хв;  
 3 - при частоті обертання ротора 2000 об/хв; А - завершення процесу обробки

При збільшенні числа обертів потужність (1) збільшується на всіх етапах обробки (рисунок 3).

$$N = M_{кр} \cdot \omega, \quad (1)$$

де  $N$  - затрачена потужність, Вт;

$M_{кр}$  - крутний момент на валу ротора Н·м,

$\omega$  - кутова швидкість ротора, рад/с.

Можна зауважити, що із зростанням частоти обертання ротора спостерігається скорочення тривалості процесу обробки сирної маси в апараті (точка А), що головним чином, зумовлюється інтенсифікацією процесів теплообміну в апараті.

Зміна потужності в процесі обробки узгоджується зі зміною ефективної в'язкості продукту [4].

Реологічні характеристики досліджували на установці «Rheotest 2» [5].

Згідно з рекомендаціями [5, 6], при підборі співвідношення радіусів вимірювальних циліндрів для композиційного продукту, виходячи із прогнозованих значень структурно-механічних характеристик, було вибрано пару циліндрів S/S3 із співвідношенням радіусів 0,81.

На графіку зміни ефективної в'язкості в процесі обробки композиційного продукту (рисунок 4) також умовно можна виділити три ділянки з характерною поведінкою досліджуваного продукту: спочатку швидке зменшення ефективної в'язкості, потім поступове її зростання і, накінець, швидке зростання ефективної в'язкості при досягненні температури, близької до температури желювання загущувача.

Механічну обробку композиційного продукту в парі ротор - статор можна оцінити, дослідивши мікроструктуру.

Мікроструктурний аналіз композиційного продукту проводили за допомогою світлового оптичного мікроскопа Motic (Fischer Bioblock) з інтегрованою фотовідеокамерою. При дослідженнях зразок продукту наносили тонким шаром на предметне скло мікробіологічною петлею і висушували. Після цього накривали покривним склом і поміщали під окуляр мікроскопа. Спостереження проводили при збільшенні в 40 разів.

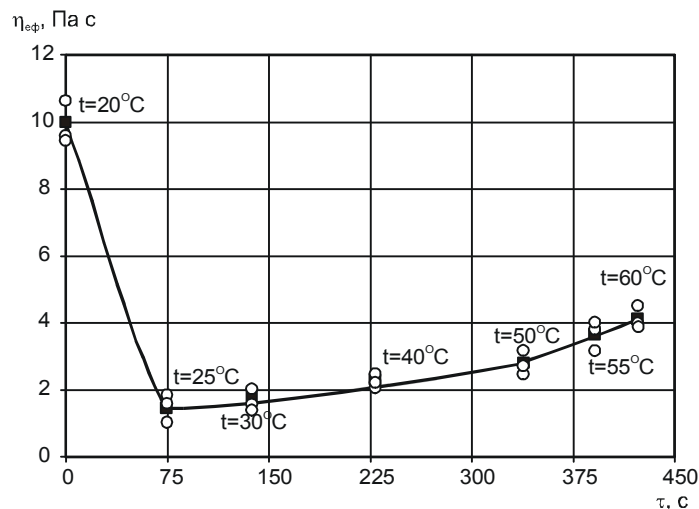


Рисунок 4 – Зміна ефективної в'язкості в процесі обробки композиційного продукту

Початкова структура композиційного продукту (рисунок 5, а) має характерний вигляд, в якому чітко проглядається сирне зерно. В процесі механічної і теплової обробки фракції подрібнюються і переходять в дисперсну систему. В точці А (рисунок 5, б,в) дисперсне середовище представляє собою гель, утворений пектином, желатином чи крохмалем, в якому знаходяться частинки білка. Змінюється також структура цих частинок і взаємозв'язок між окремими фракціями. Частинки сирного зерна, які піддавали механічній обробці, зменшуються в розмірах у 4...16 разів. Суттєвої різниці у структурі при завершенні процесу (точка А, рисунок 2, 3, 4) при зміні числа обертів не помічено (рисунок 5 б, в).

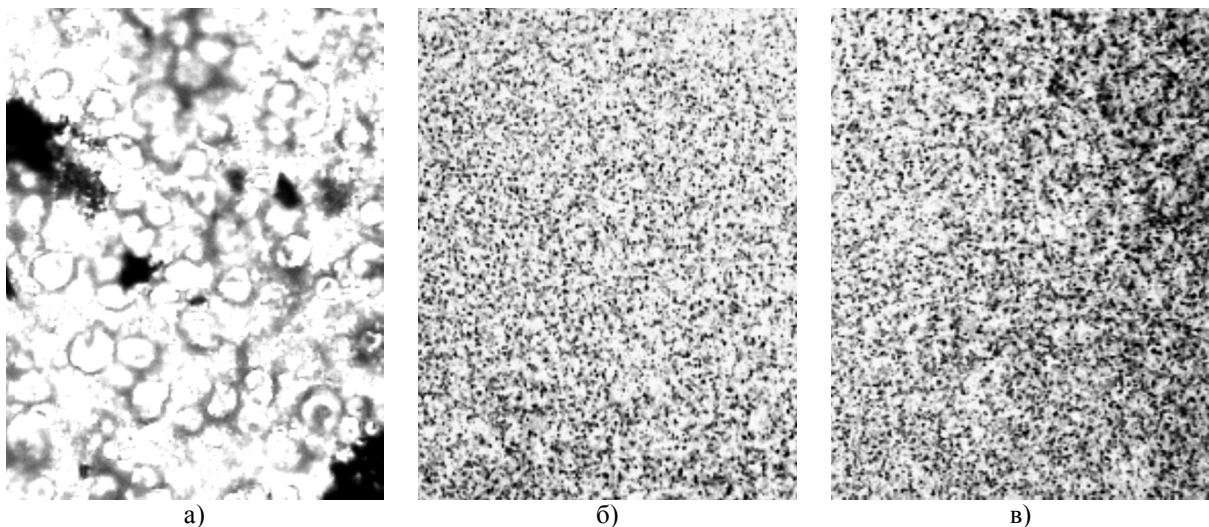


Рисунок 5 – Мікроструктура композиційного продукту в процесі його переробки в роторно-вихровому емульсорі: а) в початковий момент часу; б) після завершення механічної обробки при частоті обертання ротора 2000 об/хв; в) після завершення механічної обробки при частоті обертання ротора 3000 об/хв

Загальні затрати механічної енергії на механічну обробку і транспортування продукту суттєво залежать від частоти обертання ротора емульсора [7]. Величину затраченої у роторно-вихровому емульсорі механічної енергії  $Q$  (Дж) (рисунок 6) знаходимо методом Сімпсона за формулою:

$$Q = \int_{t_{поч}}^{t_{кін}} N \cdot dt, \quad (2)$$

де  $t_{поч}$ ,  $t_{кін}$  - відповідно початковий і кінцевий моменти часу, с.

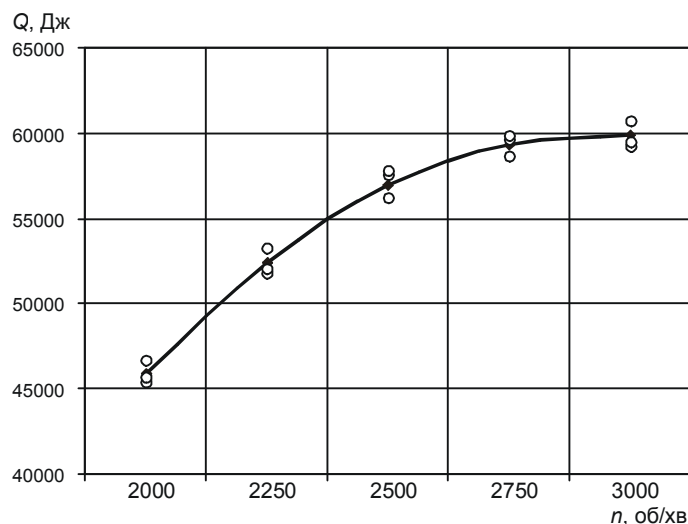


Рисунок 6 – Питомі затрати механічної енергії на 1 кг оброблюваної маси при різних частотах обертання ротора

Зі збільшенням частоти обертання ротора затрати механічної енергії зростають (рисунок 6). Це зростання змінюється від 14% в діапазоні частоти обертання ротора від 2000 об/хв до 2250 об/хв до 1,7% для діапазону 2750...3000 об/хв. Для всього діапазону розглянутих у статті частот обертання ротора зростання затрат механічної енергії складає 25%. В той же час спостерігається суттєве скорочення часових затрат (рисунок 7), яке складає до 39% для діапазону частот обертання ротора від 2000 об/хв до 3000 об/хв.

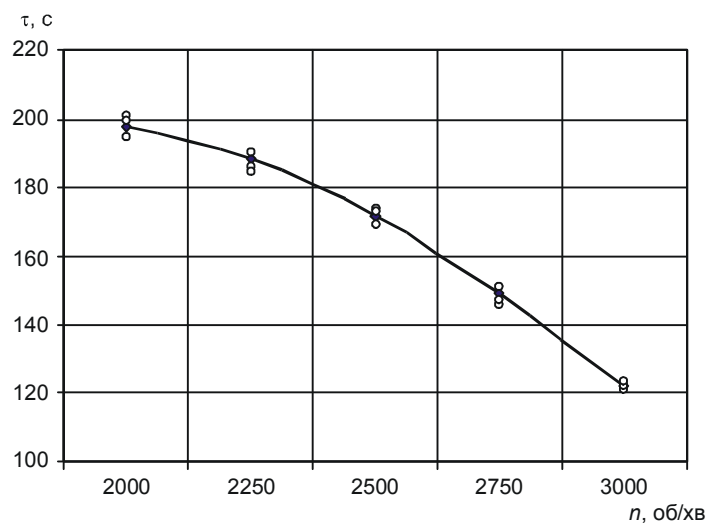


Рисунок 7 – Затрати часу на обробку 1 кг маси при різних частотах обертання ротора

Таким чином, можна зазначити, що підвищення частоти обертання ротора супроводжується зростанням затрат механічної енергії на переробку продукту і суттєвим зменшенням часових затрат. Скорочення терміну перебування продукту в апараті зумовлює краще збереження нативних властивостей білка. Також скорочення тривалості технологічного циклу дозволяє підвищити коефіцієнт використання потужностей апарата. Проте підвищення частоти обертання ротора емульсора понад 3000 об/хв у багатьох випадках зумовлює виникнення явищ кавітації, які є небажаними з технологічної і технічної точки зору.

### Висновки

1. Затрати потужності в парі ротор-статор роторно-вихрового емульсора однозначно визначаються реологічними характеристиками продукту в досліджуваному діапазоні частот обертання ротора.

2. При збільшенні числа обертів ротора емульсора зменшується час обробки суміші, що покращує збереження нативних властивостей білка.

3. Процес механічної обробки композиційних продуктів на базі сиру домашнього доцільно проводити при порційному або неперервному внесенні сирної маси, яка завантажується в апарат під час початкового завантаження рідких фракцій.

#### **Література**

1. Г.Єрьсько, М.Шинкарик, В.Ворощук. Технологічне обладнання молочних виробництв.– Київ: Фірма “Інкос”, Центр навчальної літератури, 2007.– 344с.
2. В.Д.Харитонов, В.Б.Богдановский, Ю.А.Бродский, Г.В.Будрик. Измельчитель-смеситель для продуктов на молочной основе // Молочная промышленность. – №1. – 1999.– С.25-26.
3. Бродский Ю.А., Будрик Г.В., Базиков В.И. Создание и исследование оборудования разработанного во ВНИМИ для производства молока, молочных продуктов и продуктов со смешанным сырьевым составом // Молоко. Молочные продукты и продукты со смешанным сырьевым составом: Сборник докладов 5 международной конференции. - Москва, 2002. – С.85.
4. М. Шинкарик, В.Ворощук. Дослідження реологічних характеристик композиційних білкових прдуктів на базі сиру домашнього при обробці у роторно-вихровому емульсорі // Наукові праці національного університету харчових технологій. - 2007. - №20.– С.28-31.
5. «Реотест 2» / Инструкция о применении.
6. Мачихин Ю.А., Мачихин С.А. Инженерная реология пищевых материалов. – М.: Легкая и пищевая пром-сть, 1981. – 216 с.
7. М. Шинкарик, В.Ворощук. Особливості механічної обробки десертних сиркових мас у роторно-вихрових емульсорах. Матеріали одинадцятої науково-технічної конференції ТДТУ "Прогресивні матеріали, технології та обладнання в машино- і приладобудуванні".– Тернопіль, 2007. – С.188.

*Одержано 19.03.2008 р.*