

УДК 637.024

*М.М. Шинкарик, к.т.н, доцент,
В.Я. Ворощук, к.т.н.
Тернопільський національний технічний університет ім. І.Пулюя, Тернопіль
Г.О. Єресько, д-р т. н., професор;
Т.В. Рудакова, к.т.н., ст.н.с
Інститут продовольчих ресурсів НААН
С.А.Наріжний, к.т.н.
Білоцерківський національний аграрний університет*

ОПТИМАЛЬНІ ГІДРОДИНАМІЧНІ РЕЖИМИ РОБОТИ РОТОРНО-ВИХРОВОГО ЕМУЛЬСОРА ПРИ ОБРОБЦІ СИРКОВИХ МАС

Проаналізовано особливості застосування технологічного обладнання для виробництва сиркових мас. Запропоновано критерії оцінки оброблення сиркових мас у роторно-вихрових емульсорах, зокрема: енергетичний параметр (витрати потужності на обробку 1 кг маси), технологічний параметр (скорочення тривалості обробки маси), якісний параметр (забезпечення структури і рівномірної концентрації продукту). Підібрано методики та обладнання для дослідження реологічних характеристик, мікроструктури сиркової маси та визначення використаної потужності при гідродинамічному обробленні у роторно-вихровому емульсорі. На базі комп'ютерної керуючої системи розроблено експериментальний стенд для дослідження гідродинамічних режимів роботи емульсора. У процесі досліджень при різних значеннях частоти обертання ротора встановлено вплив способу дозування сиру кисломолочного в рідинну фракцію на споживання потужності та на якість механічної обробки сиркових мас в роторно-вихровому емульсорі. Досліджено зміну мікроструктури сиркової маси в процесі оброблення у роторно-вихровому емульсорі. Встановлено оптимальні гідродинамічні режими роботи роторно-вихрових емульсорів.

***Ключові слова:** роторно-вихровий емульсор, потужність, сиркові маси, оптимальні гідродинамічні режими.*

***M.M. Shynkaryk, Assoc. Prof., Lecturer of the Dep. of Food Technologies Equipment
V.Ya. Voroshchuk, Ph.D., Lecturer of the Dep. of Food Technologies Equipment
Ternopil Ivan Pul'uj National Technical University
H.O. Yeres'ko, D. Sc, Professor, Academician NAAS
T.V. Rudakova, Ph.D., S. Res. of the Dep. of dairy products and baby food
Institute of Food Resources NAAS, m. Kyiv
S.A. Narizhnyy, Ph.D., Assistant of the Dep. of Food Technology and technologies
of livestock products
Bila Tserkva National Agrarian University***

OPTIMAL HYDRODYNAMIC MODES OF PROCESSING IN ROTOR-VORTEX EMULSIFIER AT THE PRODUCTION OF THE CURD PRODUCT

Authors analyzed the features of technological equipment applied for the curd pastes production. Criteria for estimating the processing of the curd pastes in rotor-vortex emulsifiers, such as: the power parameter (the need of power for processing 1 kg of curd pastes), the technological parameter (the reduction of curd pastes processing duration), the quality parameter (providing the structure and the concentration evenness of curd pastes were proposed). Authors chose methodologies and equipment for the research of rheological characteristics, microstructure of curd pastes and determination of the power used for hydrodynamic processing in the rotor-vortex emulsifier. Authors made a computer-assisted experimental device for the research of hydrodynamic modes of the emulsifier operations. They investigated the influence of

method of the dosage of curd, on the need of power, and on treatment of the curd pastes in rotor-vortex emulsifier at the different values of rotor rotation frequency. Authors investigated the change of microstructure of the curd pastes during processing in rotor-vortex emulsifier. They found the optimal hydrodynamic modes of operations of rotor-vortex emulsifiers.

Keywords: rotor, vortex rotation, emulsifier, power, curd pastes, optimal hydrodynamic modes.

Н.Н. Шинкарик, канд.техн. наук, доцент

В.Я. Ворощук, канд.техн. наук

Тернопольский национальный технический университет им. И. Пулюя, Тернополь

Г.А. Ересько, д-р техн. наук, профессор, академик НААН

Т.В. Рудакова, канд.техн. наук, ст.н.с.

Институт продовольственных ресурсов НААН, Киев

С.А. Нарижний, канд.техн. наук

Белоцерковский национальный аграрный университет, Белая Церковь

ОПТИМАЛЬНЫЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ РЕЖИМЫ РАБОТЫ РОТОРНО-ВИХРЕВОГО ЭМУЛЬСОРА ПРИ ОБРАБОТКЕ СЫРКОВЫХ МАСС

Проанализированы особенности применения технологического оборудования для производства творожных масс. Предложены критерии оценки обработки творожных масс в роторно-вихревых эмульсорах, в частности: энергетический параметр (затраты мощности на обработку 1 кг массы), технологический параметр (сокращение продолжительности обработки массы), качественный параметр (обеспечение структуры и равномерной концентрации продукта). Подобраны методики и оборудование для исследования реологических характеристик, микроструктуры творожной массы и определения использованной мощности при гидродинамической обработке в роторно-вихревом эмульсоре. На базе компьютерной управляющей системы разработан экспериментальный стенд для исследования гидродинамических режимов работы эмульсора. В процессе исследований при различных значениях частоты вращения ротора установлено влияние способа дозирования творога в жидкостную фракцию на потребление мощности и на механическую обработку творожных масс в роторно-вихревом эмульсоре. Исследовано изменение микроструктуры творожной массы в процессе обработки в роторно-вихревом эмульсоре. Установлены оптимальные гидродинамические режимы работы роторно-вихревых эмульсоров.

Ключевые слова: роторно-вихревой эмульсор, мощность, творожные массы, оптимальные гидродинамические режимы.

Постановка проблеми у загальному вигляді. На ринку молочних продуктів все більшим попитом користуються продукти збалансовані за білково-вуглеводним-жировим складом. Розроблено низку технологій виробництва таких продуктів [1], зорієнтованих на різні вікові категорії та смаки. Технології їх виробництва передбачають термомеханічну обробку, при якій здійснюється нагрів маси до температури пастеризації, перемішування продукту і подрібнення твердої фракції.

Віднедавна для виробництва таких продуктів застосовуються роторно-вихрові емульсори, які в порівнянні з місткісними ножовими подрібнювачами типу «Штефан» мають ряд переваг: роторно-вихрові емульсори забезпечують циркуляцію продукту по замкнутому контурі і тим самим рівномірну механічну і термічну обробку суміші. Дослідниками [2, 3] вивчались процеси виробництва сиркових мас в роторно-вихрових емульсорах з точки зору вибору рецептури для забезпечення певних показників якості, зміни реологічних характеристик в процесі зберігання. Проте гідродинамічні режими роботи, які впливають на якість продукції і витрати потужності при її виробництві, не вивчались.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Очевидно, гідродинамічні режими роботи апарату, в першу чергу, визначаються його конструкцією. Для проведення експериментів був вибраний роторно - вихровий емульсор [4]. Дослідження виконували для сиркової маси “Ягідка”.

В працях [5, 6] було показано, що робота обладнання залежить від реологічних властивостей сиркової маси, які суттєво змінюються в процесі обробки. Як реологічне тіло, сиркову масу характеризують ефективна в'язкість і граничне напруження зсуву. Дослідження реологічних характеристик сиркової маси із загущувачем [6] показали, що максимальні значення ефективної в'язкості і напруження зсуву спостерігаються в початковий момент обробки, а далі їхні значення зменшуються і незначно зростають при структуроутворенні загущувача. Пропорційно до них змінюється потужність. Тому, очевидно, регулюючи реологічні властивості маси, можна впливати на енергоспоживання установки. З іншого боку на процес обробки впливають також режими роботи самого обладнання, серед яких визначальним є число обертів ротора.

Матеріали та методи. Матеріали та методи, використані у ході дослідження. Реологічні характеристики окремих складників та продукту досліджували за допомогою установки «Rheotest 2». Вимірювання дотичної напруги зсуву τ_r (Па) проводили при дванадцяти значеннях градієнта швидкості зсуву γ в діапазоні від 0,33 до 145,8 с^{-1} . Для оброблення рецептурної суміші застосовували експериментальну установку на базі лабораторного роторно-вихрового емульсора з комп'ютеризованою керуючою системою на базі тиристорного перетворювача напруги Lenze 534. Мікроструктуру продукту досліджували за допомогою цифрового мікроскопа типу Motic DS.

Виклад основного матеріалу дослідження. Серед параметрів, за якими можна судити про оптимальність режимів роботи роторно-вихрового емульсора виділили наступні:

- енергетичний параметр – витрати потужності на обробку 1 кг сиркової маси;
- технологічний параметр – скорочення тривалості обробки сиркової маси;
- якісний параметр – забезпечення структури і рівномірної концентрації продукту.

Схема експериментальної установки показана на рисунку 1. Експериментальна установка являє собою модель роторно-вихрового емульсора. Основними елементами установки є: робоча місткість 1 з сорочкою 4, циркуляційний трубопровід 6 і трилопатева скребкова мішалка 5, емульгуючий пристрій, який складається з профільного конічного статора 3, що утворює з профільним конічним ротором 2 робочий зазор диспергування. Величина робочого зазору може регулюватися від 0,22 до 3 мм за допомогою розпірної гайки. Основним функціональним призначенням ротора 2 є механічне подрібнення досліджуваного продукту, а також транспортування його у циркуляційному контурі.

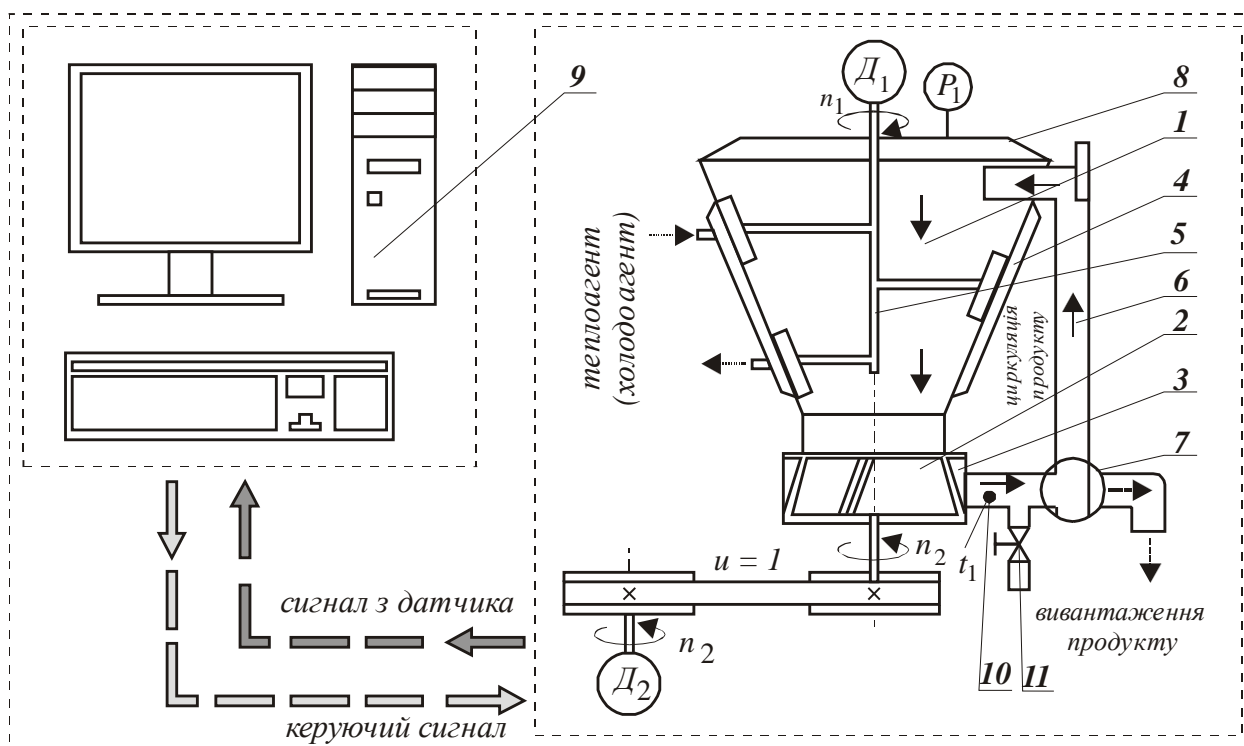


Рис. 1 Експериментальна установка:

1 - робоча місткість; 2 - ротор; 3 – статор; 4 - сорочка; 5 - скребкова мішалка; 6 - циркуляційний трубопровід; 7 - триходовий кран; 8 – кришка; 9 – комп’ютерна система керування; 10 – термопара; 11 – відбір проб; D_1 , D_2 – електродвигуни; P_1 – мановакуумметр.

Привід ротора здійснювався від електродвигуна D_1 з регульованим числом обертів в межах від 0 об/хв до 4000 об/хв. В процесі роботи проводилось вимірювання частоти обертання ротора, а також крутного моменту. Точність вимірювань крутного моменту складала до 2 %; межі вимірювань – від 0,0 Н·м до 3,0 Н·м.

Теплову обробку продукту здійснювали в робочій місткості 1 через теплообмінну сорочку 4 за рахунок почергової подачі тепло- або холодоагенту в залежності від етапу обробки. Для контролю температури робочої суміші використано термопару 10. Відбір проб здійснювався з патрубку 11. Скребкову мішалку 5 використовували для запобігання пригару продукту, її виконано у вигляді трисекційної конструкції з робочими елементами стрічкового типу, розміщеними під кутом до осі і паралельно до твірної внутрішньої стінки теплообмінної сорочки. Частота обертання валу скребкової мішалки була 25 об/хв.

Після завантаження компонентів в пароводяну сорочку подавали теплоагент для нагрівання сиркової маси до температури термізації. Під дією власної ваги сиркова маса поступала в емульгуючий пристрій. Проходячи в зазорі між ротором і статором, складові продукту подрібнювалися, перемішувалися і через циркуляційний трубопровід знову поступали в емкість.

Проведені попередні дослідження [6] показали, що максимальні значення реологічних характеристик спостерігаються на початковому етапі обробки, поки структура маси не зруйнована. Враховуючи, що реологічні характеристики окремих компонентів змінюються в широкому діапазоні, були проведені експерименти при зміні вмісту сиру кисломолочного в рідинній фракції (вода, цукор, загущувач) на прикладі сиркової маси “Ягідка”. Маса рідинної фракції становила 1495 г. Маса сиру кисломолочного становила від 20% до 100% рецептурної. Реологічні характеристики сирної маси при різному вмісті сиру кисломолочного за температури 20 °С представлені на рисунку 2 а,б.

Було встановлено, що ефективна в'язкість сирної маси η_{ef} і граничне напруження зсуву зростають при наростанні концентрації сиру кисломолочного $C_{с.к.}$, проте залишаються меншими ніж у випадку його одномоментного внесення у рецептурну суміш. Особливо значним є зменшення граничного напруження зсуву. Звичайно, в процесі виробництва необхідно механічно і термічно обробити всю масу, проте на початковому етапі обробки поступове дозування сирної маси призведе до зниження потужності і може розглядатися як шлях зменшення енерговитрат.

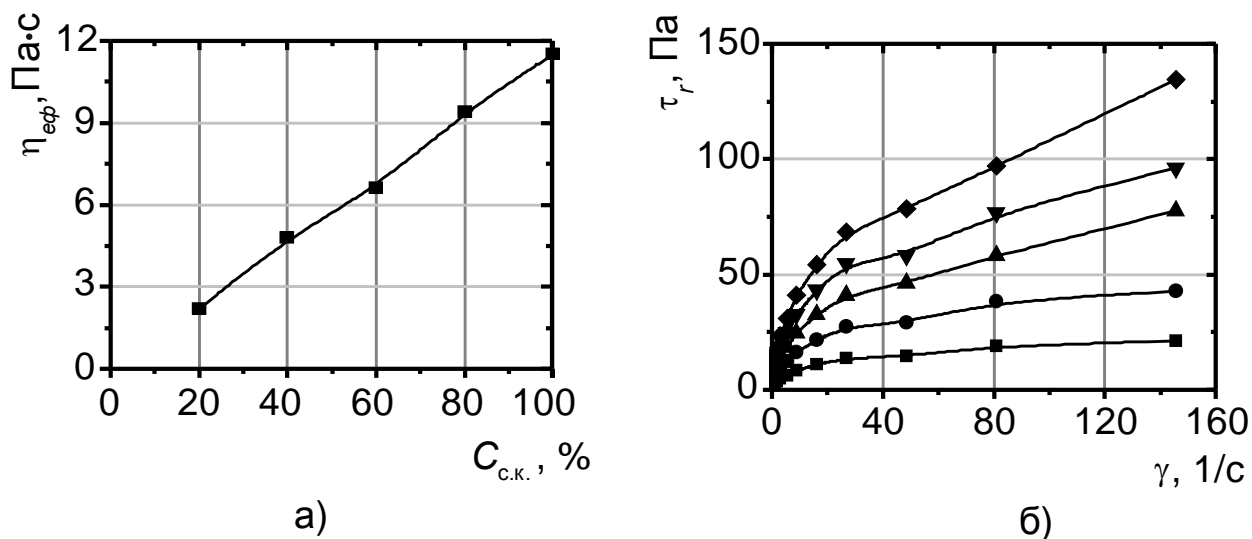


Рис. 2 – Реологічні характеристики сирної маси: (а) ефективна в'язкість та (б) граничне напруження зсуву при значеннях концентрації сирної маси: ■ - 20%, ● - 40%, ▲ - 60%, ▼ - 80%, ◆ - 100%).

Тому в подальшому проводили вимірювання потужності при поступовому дозуванні сирної маси (рис. 3). Число обертів ротора змінювали в межах від 1000 об/хв до 4000 об/хв. Масу дозували в пропорції 20 % до рецептурної через кожні 10 циклів обробки. Одночасно проводили повний комплекс термомеханічної обробки. Для визначення тривалості циклу циркуляції було виконано експериментальне дослідження продуктивності роторно-вихрового емульсора.

Необхідно зазначити, що при обертах ротора менше 1500 об/хв не спостерігається циркуляції маси по контуру. Тобто робоче число обертів ротора повинно бути більшим, ніж 1500 об/хв. При збільшенні числа обертів ротора зростає продуктивність, і зменшується тривалість обробки, яка визначалася досягненням сирковою масою температури пастеризації. Тому доцільно представити залежність потужності на привід ротора від циклів обробки (рис. 3).

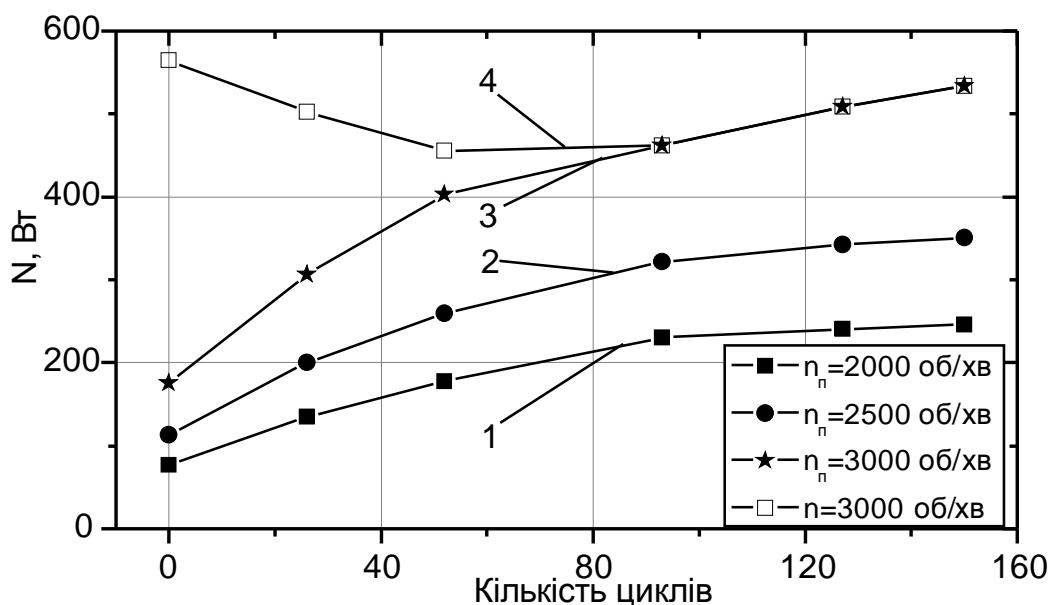


Рис. 3 – Зміна миттєвої потужності при різних частотах обертання ротора:
 1, 2, 3 - при поступовому внесенні сиру кисломолочного; 4 – при одномоментному
 внесенні сиру кисломолочного на початку процесу.

Як видно з графіку, у випадку поступового внесення сиру кисломолочного (рис. 3, лінія 3) миттєва потужність в початковий момент роботи емульгуючого пристрою є меншою майже в три рази, ніж при одномоментному внесенні сиру кисломолочного (рис. 3, лінія 4). Значення миттєвої потужності зрівнюються при досягненні сирною масою температури структуроутворення.

Загальне споживання механічної енергії на весь процес обробки визначали за формулою

$$E_{\text{ц}} = \int_{\tau_1}^{\tau_2} N(\tau) d\tau,$$

де $E_{\text{ц}}$ - витрати енергії на весь цикл обробки, Дж;

N - миттєва потужність, Вт;

τ - час, с.

При збільшенні числа обертів витрати енергії зростають, а при $n > 3000$ об/хв зростання набуває експоненціального характеру (рис. 4). Щодо продуктивності установки, то зі збільшенням числа обертів ротора продуктивність установки зростає, проте при $n > 3250$ об/хв стає майже постійною. Обернено до продуктивності змінюється тривалість обробки. Тобто оптимальні енергетичні і технологічні параметри установки знаходяться в межах від об/хв 2750 до 3250 об/хв.

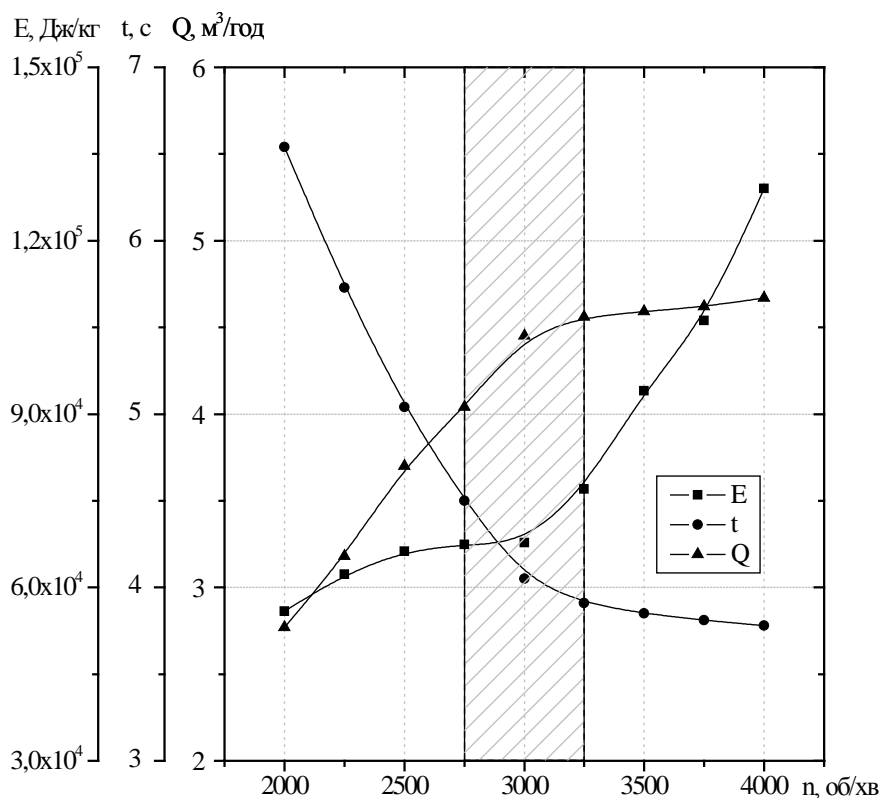


Рис. 4. Питоме споживання механічної енергії E (■), усереднена тривалість циклу циркуляції t (●) і об'ємна продуктивність Q (▲) роторно-вихрового емульсора в залежності від частоти обертання ротора емульсора.

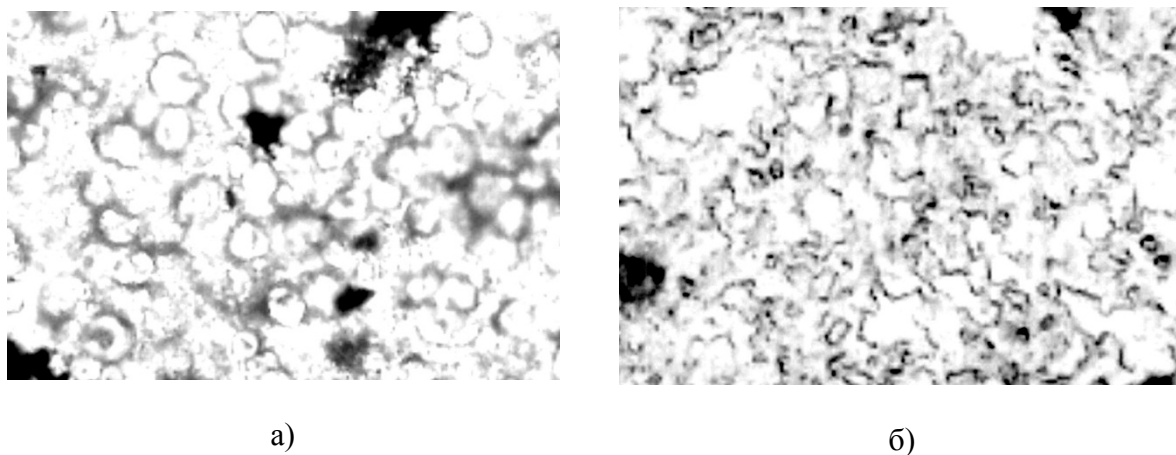


Рис. 5 Мікроструктура сиркової маси.

а) мікроструктура сиркової маси до її обробки; б) мікроструктура сиркової маси після 45 циклів обробки.

Важливим параметром якості готового продукту є його мікроструктура. Було встановлено, що структура продукту не залежить безпосередньо від числа обертів, а від кількості циклів циркуляції продукту через роторно-вихровий пристрій (рис. 5). Для забезпечення належної мікроструктури продукту достатньо від 45 до 50 циклів циркуляції, в той же час для термічної обробки продукту необхідно 150 циклів циркуляції. Тобто необхідна мікроструктура продукту буде забезпечена і при поступовому дозуванні сирної маси.

Висновки

1. Циркуляцію продукту у замкнутому контурі можна забезпечити при обертах ротора вище 1500 об/хв.
2. Поетапне дозування сиру кисломолочного в рідинну фракцію дозволяє зменшити витрати енергії на механічну обробку сиркових мас в роторно-вихровому емульсорі майже втричі на початковій стадії обробки.
3. Необхідна мікроструктура сиркової маси забезпечується за 50–60 циклів циркуляції продукту.
4. Необхідна тривалість обробки продукту, що визначається досягненням заданої температури, становить більше 150 циклів циркуляції продукту.
5. Витрати енергії, тривалість циклу циркуляції та об'ємна продуктивність роторно-вихрового емульсора залежать від частоти обертання його ротора. Оптимальне число обертів ротора знаходиться в межах від 2500 об/хв до 3500 об/хв.

Література

1. Деклараційний патент 64346 А Україна, МКИ 7 А 23С23/00. Сирковий продукт та спосіб його виробництва / Гуляєв-Зайцев С.С., Пічкур Т.В., Васильєва Н.І. – Заявлено 19.05.2003; Опубл. 16.02.2004, Бюл. № 2.
2. Пічкур Т.В. Вивчення можливості використання зерноборошняних наповнювачів у сиркових výroбах / Пічкур Т.В., Гуляєв-Зайцев С.С., Млечко Л.А. // Наукові праці УДУХТ. – У 2 ч. – К.: УДУХТ, 2001. – № 10. – Ч. 2. – С. 43-44.
3. Гуляєв-Зайцев С.С. Розробка технології виробництва пастоподібного плавленого сиру на роторно-вихровому емульгаторі / Гуляєв-Зайцев С.С., Бовкун А.О. // Наукові праці УДУХТ. – У 2 ч. – К.: УДУХТ, 2001. – №10. – Ч.2, С. 45-46.
4. Кимачинский С.И. Эмульсор роторно-вихревой ТУ У 46.39.ГО.170-97. Украинская академия аграрных наук. ТИММ. Молочная промышленность. Информационные сообщения. Вып. 3, 1999, с. 2-4
5. Мусабаев, Н. А. Исследование структурно-механических свойств творога и творожных масс : автореф. дис. канд. техн. наук: 05.175 / Мусабаев Н. А.; Московский технологический институт мясной и молочной промышленности. – М., 1970. - 20 с.
6. Шинкарик М. Дослідження реологічних характеристик композиційних білкових прдуктів на базі сиру домашнього при обробці у роторно-вихровому емульсорі / М. Шинкарик, В. Ворошук. // Наукові праці національного університету харчових технологій - 2007р. - №20. ст.28-31.