

Міністерство освіти України

УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

На правах рукопису

САВЧЕНКО ОЛЕКСАНДР АРКАДІЙОВИЧ

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ГІДРОДИНАМІКИ,
ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ ТА КОНСТРУКЦІЇ СИРОВИГОТОВЛЮВАЧІВ

Спеціальність 05.18.12 - процеси та апарати
харчових виробництв

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
дисертації на здобуття вченого ступеня
кандидата технічних наук

Київ - 1997





Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Технологічному інституті молока та м'яса Української академії аграрних наук.

Науковий керівник - академік Української академії аграрних наук, доктор технічних наук, професор
Г.О.Єресько

Науковий консультант - кандидат технічних наук, старший науковий співробітник В.Г.Генінг

Офіційні опоненти - доктор технічних наук, професор
Орлов Л.О.

- кандидат технічних наук, доцент
Шинкарик М.М.

Провідна організація - УКРДІПРОМ'ЯСОМЛПРОМ

Захист дисертації відбудеться "22" квітня 1997 р.
о "14" годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 01.15.04 в Українському державному університеті харчових технологій за адресою: 252033, м.Київ, вул. Володимирська, 68, корп. А, ауд. 311.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці УДУХТ.

Автореферат розіслано "21" березня 1997 р.

Вчений секретар спеціалізованої ради, кандидат технічних наук, доцент

В.Л.Зав'ялов

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. Важливою ланкою технології отримання сиру є обробка сичужного згустка і виробництво сирного зерна. Відомо, що якість готового сиру залежить від рівномірності фізико-хімічних властивостей та розмірів сирного зерна. Суттєво впливають на якість сирного зерна гідродинамічні процеси (утворення сичужного згустка, розрізання сирного згустка, вимішування сирного зерна, осідання сирного зерна), що визначають вихід та якість готового продукту. Вивчення процесів гідродинаміки має важливе значення при розрахунку параметрів технологічного процесу виробництва сирного згустка та потужності привода сировиготовлювачів. В зв'язку з цим проведення досліджень, пов'язаних з визначенням ролі фізико-хімічних властивостей сичужного згустка, геометричних параметрів ріжуче-вимішувючих інструментів, режимів роботи та оптимізації конструкції сировиготовлювачів є актуальною задачею. Практично не вивчені синерезис і гідродинаміка вимішування сирного зерна в сировиготовлювачах. Дані, що мають в літературі, по розрахунку сироробних ванн, неповні і не можуть бути взяті за основу при розрахунках та розробці сировиготовлювачів. Незнання закономірностей протікання вищезгаданих процесів не дозволяє інтенсифікувати процеси виробництва сирного зерна, скоротити втрати сировини і продукта, оптимізувати режими експлуатації обладнання.

Мета роботи. Основною метою дисертаційної роботи є оптимізація режимів роботи та конструкції сировиготовлювачів на основі експериментального дослідження процесів гідродинаміки, і створення вітчизняного сировиготовлювача.

Для досягнення поставленої мети сформульовані та вирішені наступні завдання:

- визначити реологічні характеристики сичужного згустка, що

впливають на процеси розрізання згустка і подальшої технологічної обробки;

- дослідити закономірності процесу розрізання сирного згустка та визначити взаємозв'язок між геометричними параметрами ріжучих інструментів, реологічними характеристиками продукту, технологічними режимами і основними параметрами процесу;

- дослідити закономірності зміни адгезійних характеристик сирного згустка і сирного зерна по відношенню до різних матеріалів, і розробити науково обгрунтовані рекомендації з використання анти-адгезійних матеріалів для виготовлення сировиготовлювачів;

- вивчити процес вимішування сирного зерна і визначити величини витрачаємої потужності в залежності від гідродинамічних факторів та концентрації сирного зерна;

- визначити закономірності осідання сирного зерна в сироватці і вплив технологічних параметрів на швидкість осідання;

- провести експериментальну перевірку основних результатів досліджень у виробничих умовах;

- провести оптимізацію конструктивних параметрів робочих органів сировиготовлювача та режимів проведення гідродинамічних процесів за втратами білка, жиру та енергетичним витратам.

Наукова новизна роботи. Відображені закономірності зміни реологічних характеристик сирного згустка в процесі сичужного зсідання молока.

Вперше досліджено процес розрізання сирного згустка в сировиготовлювачах, одержані рівняння, які встановлюють зв'язок між фізико-хімічними властивостями згустка, геометричними параметрами ріжучих інструментів, режимами обробки згустка та енергетичними затратами, втратами білка та жиру, гранулометричними параметрами сирного зерна.

Встановлено закономірність зміни адгезійних характеристик сирного згустка та сирного зерна по відношенню до різних матеріалів.

Досліджено процес вимішування сирного зерна в сировиготовлювачі та одержані залежності, які дозволяють розрахувати енергозатрати в залежності від гідродинамічних режимів та рівня заповнення робочого об'єму апарата.

Визначені закономірності осідання сирного зерна в сироватці, одержані залежності, які дозволяють розрахувати швидкість осідання сирного зерна в залежності від його фізико-хімічного складу, технологічних факторів та концентрації сирного зерна в суміші.

Визначено конструктивні параметри робочих органів сировиготовлювача та режими проведення гідродинамічних процесів обробки сирного зерна за втратами білка і жиру.

Практична цінність роботи та впровадження її результатів.

Одержані оптимальні режими розрізання сичужного згустка, вимішування та осідання сирного зерна для сирів з різною масовою часткою жиру. Визначені основні конструктивні вимоги до конструкції сировиготовлювача, ріжучих інструментів та привода.

Результати дисертаційної роботи використані при створенні сировиготовлювачів нової конструкції різної місткості. Розроблені і впроваджені у виробництво сировиготовлювачі місткістю 1000, 5000, 10000, 15000 л та сироробний комплекс продуктивністю до 300 кг сиру в зміну. На всі зразки обладнання розроблено, затверджено та зареєстровано в Держстандарті технічні умови, що можуть застосовуватись для сертифікації.

Серійне виробництво цих апаратів налагоджено на Нижнетуринському машинобудівному заводі (м. Нижня Тура Свердловської області, Росія), на Хмельницькому заводі "Темп" (м. Хмельницький) і на Дослідному механічному виробництві ТІММ УААН. Випускає сировиготовлю-

вачі такої конструкції також Черкаський завод "Темп". Всіма заводами виготовлено і реалізовано більше 130 одиниць обладнання.

Розроблені сировиготовлювачі пройшли виробничі випробування на Новгород-Сіверському, Менському, Новоселицькому, Рожищенському сир-заводах, Дослідному технологічному заводі ТІММ та на інших молоко-переробних підприємствах України.

Апробація дисертаційної роботи. Матеріали дисертаційної роботи доповідались автором на:

- VII науково-технічній конференції "Проблеми та шляхи раціонального використання сировини в маслоробстві та сироробстві", Каунас, 1986.

- Всесоюзному науково-технічному симпозиумі, присвяченому 150-річчю з дня народження основоположника молочної справи в Росії М. В. Верещагіна "Актуальні проблеми переробки молока та виробництва молочних продуктів", Вологда, 1989.

- Республіканській науково-технічній конференції "Інтенсифікація технологій і вдосконалення обладнання переробних галузей АПК", на республіканській, міжнародній та всеукраїнській науково-технічних конференціях по розробці та впровадженню нових технологій та обладнання в харчову та переробні галузі АПК, які проводились в Києві, в 1989, 1991, 1993, 1995 рр.

- Всеукраїнському науково-практичному семінарі "Нові технології та обладнання молочної промисловості", Рожище, 1996.

- Засіданнях Вченої Ради Технологічного інституту молока та м'яса УААН, Київ, щорічно з 1988 по 1996 рр.

Публікації. Основний матеріал дисертаційної роботи опубліковано в 25 друкованих роботах, в тому числі в 4 авторських свідоцтвах і в 3 патентах України.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається із

вступу, семи розділів, висновків, бібліографічного списку, включаючого 173 джерела та додатків.

Основний текст дисертації викладено на 211 сторінках машинописного тексту, містить 63 рисунка і 12 таблиць.

Особистий внесок автора. Полягає у визначенні наукових завдань, проведенні аналітичних та експериментальних досліджень, а також практичній реалізації результатів роботи.

Головні положення до захисту:

- методика визначення ефективної в'язкості сирного згустка на універсальній випробувальній машині "Instron-1122";

- вплив конструктивних параметрів ріжучих інструментів на величину витрачаємої на різання сирного згустка потужності;

- оптимальні режими розрізання сирного згустка та вимішування сирного зерна в сировиготовлювачах;

- закономірності зміни швидкості осідання сирного зерна від його геометричних розмірів, фізико-хімічних властивостей та концентрації в суміші.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність вибраного напрямку досліджень у відповідності з завданнями, що стоять перед агропромисловим комплексом країни.

В першому розділі приведено загальні характеристики обладнання для виробництва сирного зерна, розглянуті основні переваги і недоліки апаратів різних конструкцій. Аналіз приведених в розділі промислових апаратів дозволив зробити висновок про доцільність створення вітчизняного сировиготовлювача закритого типу, конструкція якого дозволила б об'єднати всі переваги сироробних ванн, горизонтальних та вертикальних сировиготовлювачів, виключивши найбільш суттєві недоліки. В зв'язку зі специфікою процесів, що протікають в

сировипготовлювачах при виробництві сирного зерна, встала необхідність одержання закономірностей протікання цих процесів, на основі чого сформульовані мета і завдання досліджень.

В другому розділі описані методи досліджень фізико-хімічних характеристик продуктів і методи математичної обробки одержаних експериментальних даних.

В третьому розділі наведені результати дослідження процесу сичужного зсідання сирного згустка. Нами було використано метод бивчення сичужного зсідання молока, оснований на принципі визначення умовного показника в'язкості, котрий виміряли на універсальному випробувальному приладі "Instron-1122" шляхом занурення кульового Індентора з заданою швидкістю.

Згусток отримували по одній й тій же технології шляхом сичужного зсідання молока з внесенням бактеріальної закваски та хлористого кальція. Зсідання суміші здійснювали в однакових за об'ємом стаканах.

Глибина занурення кульки в згусток складала 30 мм. Зусилля, що витрачалось на подолання в'язких сил реєструвалось самопишучим приладом. Дослідження проводили на згустку, одержаному із знежиреного молока та із молока з різною масовою часткою жиру, яку змінювали в межах від 0,05 до 3,5 %. Повторність дослідів - потрійна.

В процесі проведення дослідів змінювали тривалість зсідання сичужного згустка в межах від 900 до 2700 с, що відповідає застосовувемим режимам розрізання згустка при різних технологіях. Так як при виробництві більшості видів сирів температура зсідання є постійною і коливається в межах від 32 до 34 °С, температуру зсідання під час проведення дослідів не змінювали. Також постійними залишали вид, дозу і технологічний режим висадження бактеріальної закваски, що дозволило здійснювати досліді при сталій кислотності.

В результаті графо-аналітичної обробки експериментальних даних відносно масової частки жиру суміші і тривалості зсідання одержали залежність:

$$\Sigma_{\text{эф}} = 9,23 \cdot \tau^{0,46} \cdot \rho_{\text{ж}}^{0,05} \quad (1)$$

Розходження значень, розрахованих за формулою (1) з одержаними експериментальними даними не перевищувало 12,5 %.

В четвертому розділі досліджені основні гідродинамічні процеси, що протікають в сировиготовлювачах.

При різанні сирного згустка в сировиготовлювачах на величину зусилля різання впливають швидкість різання, кут заточки, товщина й висота ножа. В експериментах використовувались спеціально виготовлені з нержавіючої сталі ножі. Зусилля різання виміряли на універсальній випробувальній машині "Instron-1122". Для визначення впливу кута заточки ножа на зусилля різання використовували ножі товщиною 2 мм и кутами заточки 10, 20, 30, 40, 60, 90, 120 и 180°. Швидкість різання змінювали в межах від $1,66 \cdot 10^{-3}$ до $8,33 \cdot 10^{-2}$ м/с. Графік залежності питомого зусилля різання від кута заточки ножа представлено на рис. 1.

Дослідження по визначенню впливу товщини, висоти ножа й швидкості різання на параметри процесу різання сирного згустка проводили пластинчатими ножами без заточки, товщиною 0,05; 0,5; 1; 2; 3 мм, швидкості різання змінювали від $1,66 \cdot 10^{-3}$ до $8,33 \cdot 10^{-2}$ м/с. Експерименти проводили при різанні сирного згустка із знежиреного молока і суміші з масовою часткою жиру 0,1; 0,7; 2,3; 3,1; 4,1 %. Аналіз одержаних графічних залежностей і математична обробка результатів дослідів дозволили отримати залежність, що описує процес різання сирного згустка. На рис. 2 представлено графічну залежність, що узагальнює експериментальні дані та дані, отримані розрахунком за формулою:

$$P_{\text{різ}} = 630 \cdot v^{0,14} \cdot R^{0,46} \cdot S^{0,58} \cdot \varphi_{\text{ж}}^{0,08} \quad (2)$$

Для визначення питомого зусилля різання сирного згустка заточеним ножом слід значення, розраховане за формулою (2) помножити на коефіцієнт, який враховує вплив кута заточки:

$$P_{\text{пит}} = P_{\text{різ}} \cdot K_{\alpha} \quad (3)$$

Числові значення коефіцієнта K_{α} , отримані нами, приведені в табл. 1.

Таблиця 1

$\alpha, ^{\circ}$	10	15	20	30	40	60	90	120
K_{α}	0,71	0,65	0,66	0,68	0,78	0,87	0,91	0,94

Залежності (2, 3) дозволяють розрахувати величину момента на валу електродвигуна за формулою:

$$M = m \cdot P_{\text{пит}} \cdot (R \cdot n + (n-1) \cdot z) \cdot (L \cdot n + (n-1) \cdot \ell) \quad (4)$$

Вимірювання величини адгезійного тиску здійснювали на універсальній випробувальній машині "Instron-1122". Для вимірювання адгезійного тиску сирного зерна до різних матеріалів були виготовлені пробники з площею контакту $0,001 \text{ м}^2$ з нержавіючої сталі, сталі 3, алюмінію і міді. На окремі зразки пробників наносили в ОНВО "Пласт-полімер" (м. Санкт-Петербург) фторполімерні покриття Ф-4МБП, ФК-2, ФБФ-74Д та лак ФБФ. Крім того, при проведенні експериментальних досліджень використовували зразки пробників, виготовлені ВО "Чепецький механічний завод" (м. Глазов, Удмуртія) з цирконію. Урал-НДІчермет надав для випробувань 15 зразків нових покриттів на основі фторопластних композицій ФС ТУ 14-11-260-89 "СТАЛАФЛОН". НДІХімаш (м. Харків) виготовив 15 зразків з полімерними покриттями.

Величину адгезійного тиску визначали за рівнянням:

$$p_0 = \frac{P_0 \text{ max}}{F_k} \quad (5)$$

Для дослідження адгезії сирного згустка застосовували метод відриву пластини з продукту. Для цього виготовили спеціальні пластини з нержавіючої сталі і на деякі з них наносили полімерні покриття, які мають найнижчі адгезійні показники по відношенню до сирного зерна і були відібрані під час проведення попередніх дослідів.

Величину адгезійного тиску розраховували за формулою:

$$P_0 = \frac{P_0}{2R \cdot (L \cdot S)} \quad (6)$$

Результати експериментальних досліджень по вивченню взаємного впливу тривалості, величини тиску контакту та швидкості відриву на величину адгезійного тиску сирного зерна, що приведені на рис. 3, дозволили описати процес адгезії сирного зерна по відношенню до нержавіючої сталі і цирконію:

$$P_{0nc} = 6,17 \cdot 10^{-2} \cdot \tau^{-0,30} \cdot P_k^{0,92} \cdot v^{-0,11} \quad (7)$$

$$P_{0ц} = 8,52 \cdot 10^{-2} \cdot \tau^{-0,30} \cdot P_k^{0,92} \cdot v^{-0,11} \quad (8)$$

по відношенню до полімерного покриття:

$$P_{0п} = 1,15 \cdot 10^{-2} \cdot \tau^{-0,55} \cdot P_k^{0,92} \cdot v^{-0,11} \quad (9)$$

Рівняння (7-9) справедливі при зміні швидкості відриву в межах від $1,666 \cdot 10^{-5}$ до $1,666 \cdot 10^{-2}$ м/с, тиску контакту від 1000 до 20000 Па, тривалості контакту від 1 до 2700 с.

При дослідженні адгезійних властивостей сирного згустка, експерименти проводили при температурі 32-34 °С. Тривалість зсідання встановлювали від 600 до 2400 с. Швидкість відриву - від $8,333 \cdot 10^{-5}$ до $8,333 \cdot 10^{-3}$ м/с.

Загальний вплив тривалості зсідання сирного згустка і швидкості різання згустка в сировиготовлювачі на адгезійний тиск, що представлений на рис. 4, описується рівняннями по відношенню до нержавіючої сталі:

$$P_{0nc} = 3,37 \cdot \tau^{0,73} \cdot v^{0,10} \quad (10)$$

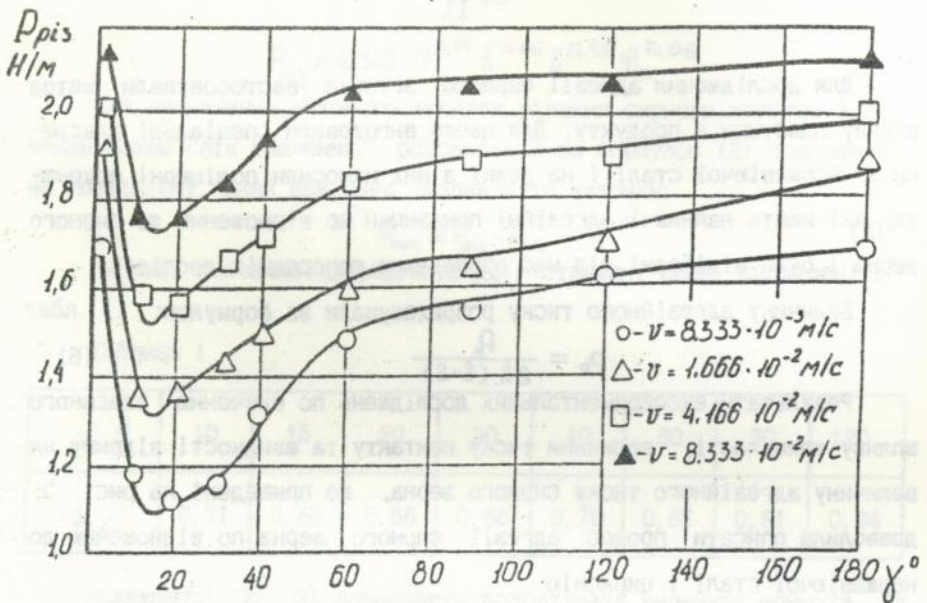


Рисунок 1. Залежність питомого зусилля різання сирного згустка від кута заточки ножа

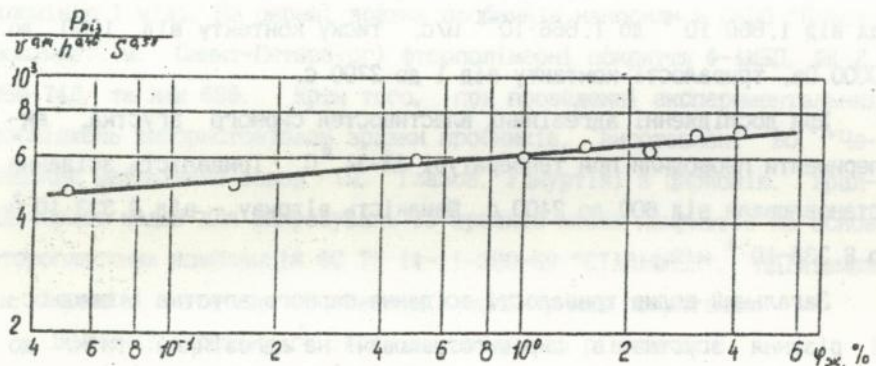


Рисунок 2. Узагальнення експериментальних даних, отриманих при дослідженні процесу різання

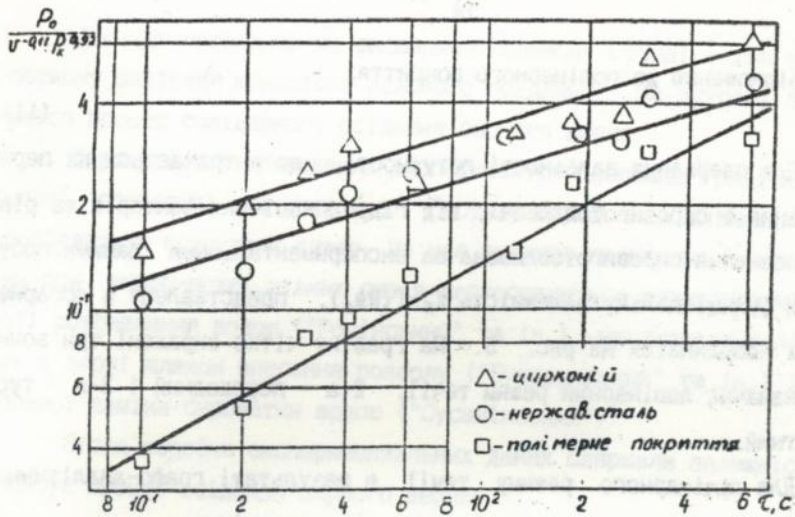


Рисунок 3. Узагальнення експериментальних даних по дослідженню адгезії сирного зерна

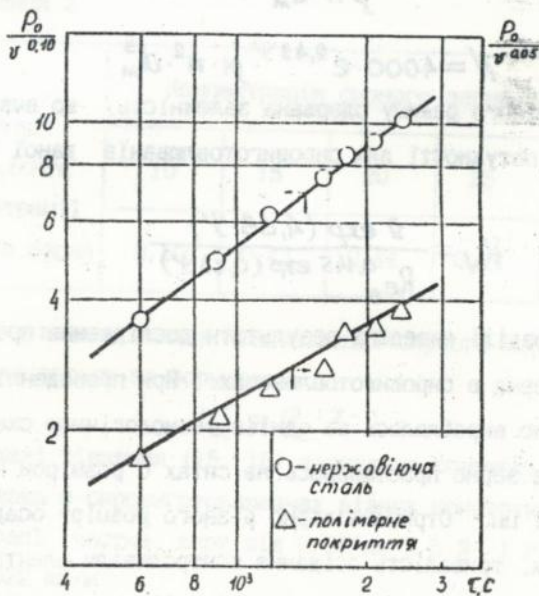


Рисунок 4. Узагальнення експериментальних даних по дослідженню адгезії сирного згустка

і по відношенню до полімерного покриття:

(11)

Для одержання залежності потужності, що витрачається на перемішування в сировиготовлювачі, від гідродинамічних факторів та рівня заповнення сировиготовлювача за експериментальними даними побудували функціональну залежність $K_N = f(Re_s)$, представлену в логарифмічних координатах на рис. 5. На графіку чітко виражені три зони, 1-а визначає ламінарний режим течії, 2-а - переходний і 3-я - турбулентний.

Для ламінарного режиму течії в результаті графо-аналітичної обробки експериментальних даних одержана залежність:

$$K_N = 4000 \cdot e^{2,43 \Psi} \cdot Re_s^{-1} \quad (12)$$

або при $Re_s = \frac{\rho n d_m^2}{\mu}$ і $K_N = \frac{N}{\rho \cdot n^3 \cdot d_m^5}$ маємо:

$$N = 4000 \cdot e^{2,43 \Psi} \cdot \mu \cdot n^2 \cdot d_m^3 \quad (13)$$

Для турбулентного режиму одержана залежність, що визначає величину критерія потужності для сировиготовлювачів даної конструкції:

$$K_N = \frac{9 \exp(4,66 \cdot \Psi)}{Re_s^{0,145} \exp(0,88 \Psi)} \quad (14)$$

В п'ятому розділі наведені результати дослідження процесу осідання сирного зерна в сировиготовлювачах. При проведенні експериментів сирне зерно вироблялось за однією технологічною схемою.

Готове сирне зерно просіювалось на ситах с розміром комірок 10, 7, 5, 3, 2 і 1 мм. Отримане зерно різного розміру осаджували в скляних циліндрах, тривалість осідання контролювали електронним секундоміром. Температура сироватки, в якій здійснювали осідання, коливалась в межах 34-37 °С. Повторність дослідів - п'ятикратна.

Досліди проводили на експериментальному стенді в два етапи: на першому виміряли швидкість вільного осідання, на другому досліджувався процес солідарного осідання сирного зерна.

В результаті проведених експериментів одержали графічні залежності, приведені на рис. 6. Густина середовища змінювали шляхом розбавлення сироватки водою. Це має важливе практичне значення, так як при виробництві різних сирів застосовуються технологічні операції розбавлення водою ("Російський" та ін.), часткового соління сиру в зерні шляхом внесення розсолу ("Буковинський" та ін.) і навіть повної заміни сироватки водою ("Сусанінський").

Після обробки експериментальних даних одержали залежність, що описує процес осідання сирного зерна:

$$v_{oc} = 0,308 \cdot \psi_{ж}^{-0,04} \cdot \rho^{-0,07} \cdot d_e^{0,36} \quad (15)$$

В результаті дослідження солідарного осідання сирного зерна одержали коефіцієнти концентрації сирного зерна, що приведені в табл. 2.

Таблиця 2

Значення коефіцієнта концентрації сирного зерна	Концентрація сирного зерна в сироватці, %					
	10	15	20	25	30	35
	0,50	0,47	0,44	0,41	0,38	0,35

З врахуванням впливу концентрації сирного зерна швидкість осідання визначається за формулою:

$$v'_{oc} = v_{oc} \cdot \lambda \quad (16)$$

Одержані рівняння (15, 16) адекватно описують процес осідання сирного зерна в сировиготовловачах різних конструкцій в межах коливання масової частки жиру від 0,05 до 3,5 % і густини рідини від 1000 до 1022 кг/м³.

В шостому розділі приведено дані з оптимізації конструктивних параметрів робочих органів сировиготовлювача та режимів проведення гідродинамічних процесів. Дослідження проводили при виробництві сирного зерна на експериментальному зразку сировиготовлювача місткістю 250 л (рис. 7). Для вимірювання крутного моменту на валах ріжуче-випішуючого механізму використали універсальний прилад визначення моменту, розроблений та виготовлений за нашими вихідними вимогами Українським науково-дослідним інститутом авіаційної техніки (УкрНДІАТ). Максимальна допустима похибка приладу становить 1,2 %.

Дослідження проводили при різанні сирного згустка із знежиреного молока та молока з насовою часткою жиру 3,2 %. Параметрами оптимізації процесу різання згустка в сировиготовлювачі прийняли масові частки жиру і сухих речовин в сироватці та питоме зусилля різання. При цьому питоме зусилля різання визначали у вигляді залежності $P=f(Re_n)$, так як критерій Рейнольдса ножа містить в собі всі фізико-хімічні фактори через в'язкість і густину та конструктивні через еквівалентний діаметр ножа. За результатами попередніх дослідів на установці "Instron-1122" розрахували критерій Рейнольдса ножа по формулі:

$$Re_n = \frac{v \cdot h \cdot \rho}{2 \eta \varphi} \quad (17)$$

Обробка (рис. 8) отриманих даних дозволила одержати залежність, що описує процес різання ножем:

$$P_{різ} = 195,6 \cdot S^{0,58} \cdot Re_n^{0,27} \quad (18)$$

Враховуючи те, що дослідження процесу різання на експериментальному зразку сировиготовлювача проводили при різанні ножами однієї товщини (1,2 мм), рівняння (18) приймає вигляд:

$$P_{різ} = 3,96 \cdot Re_n^{0,27} \quad (19)$$

Значення критерія Рейнольдса варіювали шляхом зміни частоти обертання ріжуче-випішуючих інструментів від 0,0333 до 0,499 s^{-1} .

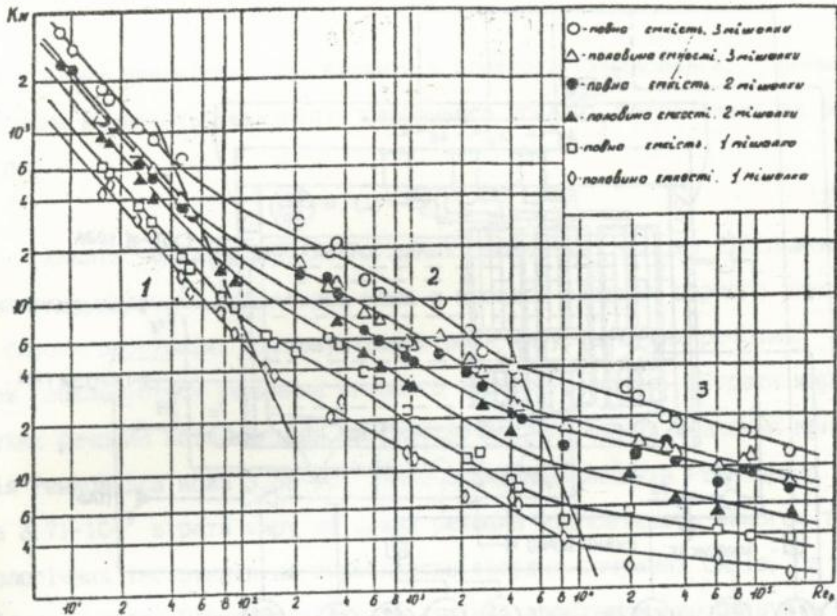


Рисунок 5. Залежність критерія потужності від критерія Рейнольдса

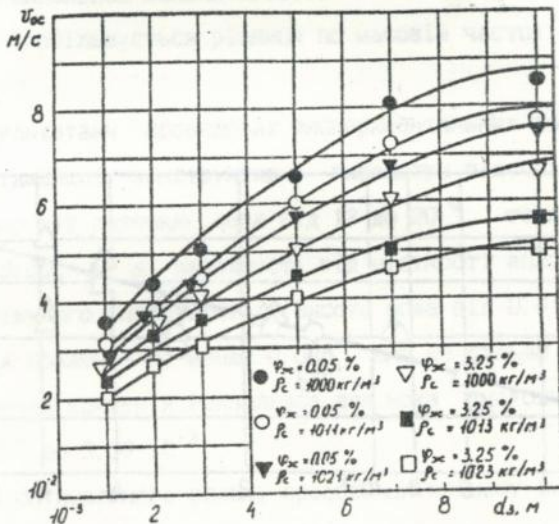


Рисунок 6. Залежність швидкості осідання від величини сирного зерна

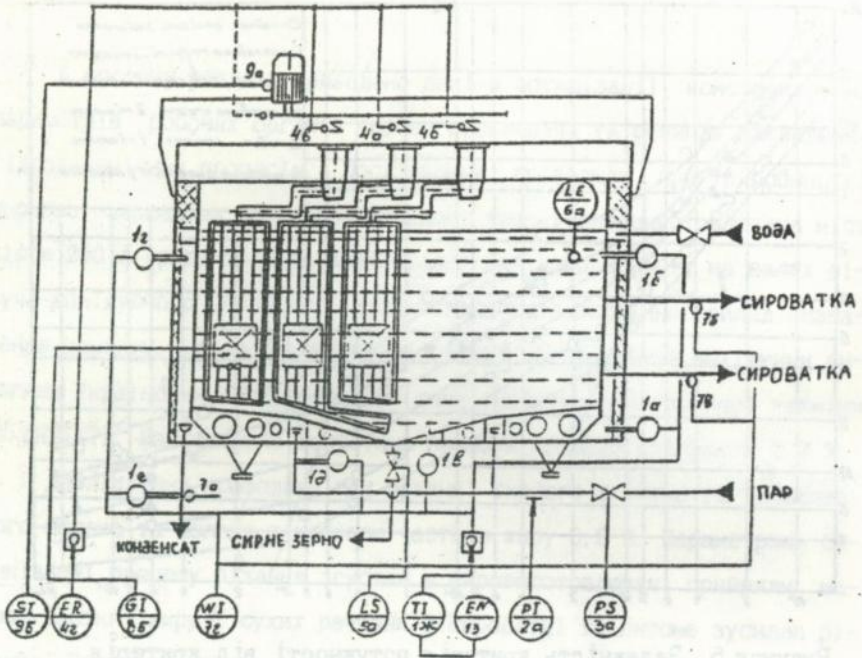


Рисунок 7. Схема функціональна експериментального зразка сировиготовлювача місткістю 250 л.

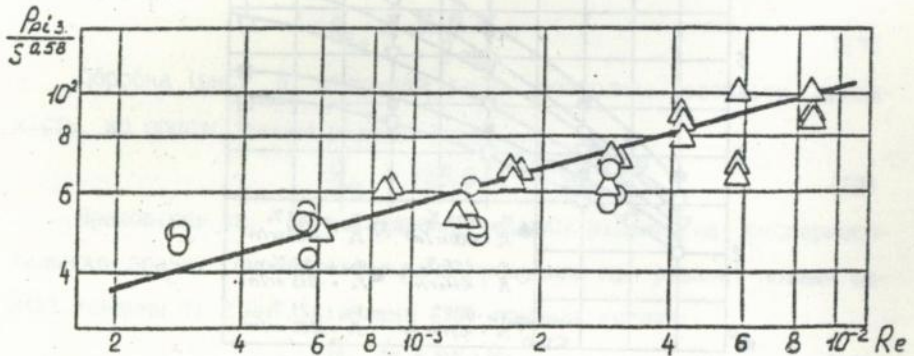


Рисунок 8. Залежність питомого зусилля різання від критерія Рейнольдса

За лінійну швидкість, що входить в критерій Рейнольдса, приймали середню швидкість (швидкість середнього ножа), розраховану за формулою:

$$U_c = \omega \cdot z_c \quad (20)$$

Аналіз експериментальних даних показав, що із збільшенням значення критерія Рейнольдса ножа в процесі різання сирного згустка в сировиготовлювачі збільшуються втрати жиру та сухих речовин. Також збільшується величина питомого зусилля різання. Втрати жиру і сухих речовин збільшуються не суттєво до досягнення значення критерія Рейнольдса ножа $3,09 \cdot 10^{-3}$. При значенні критерія Рейнольдса ножа $3,71 \cdot 10^{-3}$ втрати жиру та сухих речовин відповідають вимогам технологічних інструкцій на виробництво твердих сичужних сирів, а при більшому числі Рейнольдса втрати стрімко зростають, що свідчить про недоцільність проведення процесу різання при більших значеннях критерія Рейнольдса ножа. Також недоцільно проводити процес різання при числах Рейнольдса менших $6,18 \cdot 10^{-4}$, так як процес в цілому уповільнюється і збільшується різниця по масовій частці вологи в сирному зерні.

За результатами проведених експериментальних досліджень встановлено оптимальні конструктивні параметри ріжучих інструментів. Рекомендовано кут заточки леза від 12 до 20° , товщина леза від $0,001$ до $0,002$ м в залежності від місткості апарата та радіусу обертання ріжучого інструмента. Висота ножа від $0,015$ до $0,025$ м. Відстань між ножами - не менше $0,025$, але не більше $0,040$ м. Оптимальне значення критерія Рейнольдса для ножа знаходиться в межах від $1,24 \cdot 10^{-3}$ до $3,09 \cdot 10^{-3}$.

Підбір оптимального режиму проведення процесу вимішування сирного зерна проводили за втратами білка, жиру та енергетичним витратам. Основними параметрами оптимізації прийняли масові частки жиру

І сухих речовин в сироватці, відібраної після перемішування, та масову частку основної фракції сирного зерна, визначеної методом ситового аналізу. Для визначення впливу режиму вимішування на параметри оптимізації розраховували значення відцентрового критерія Рейнольдса, які варіювали зміною числа обертів вимішувачих інструментів.

Аналіз одержаних експериментальних даних дозволив встановити межі зміни відцентрового критерія Рейнольдса при якому найбільш доцільно проводити процес вимішування. Найбільш ефективно апарат працює при значеннях відцентрового критерія Рейнольдса від 5000 до 7500.

В цьому розділі наведені результати практичної реалізації проведених досліджень, на основі яких було створено нову конструкцію сировиготовлювача. Одержані при введенні в експлуатацію експериментальні дані свідчать про високу технологічну ефективність розроблених сировиготовлювачів. Використання сировиготовлювачів у промисловості дозволяє знизити вміст білка та жиру в сироватці, отримати більш рівномірне за гранулометричним складом сирне зерно в порівнянні з експлуатуємим обладнанням. При виробництві сирного зерна на сировиготовлювачах місткістю 5000 л вихід готового продукту в порівнянні з сироробними ваннами угорського виробництва на 5-10 % більше. Якість сиру, виробленого на сировиготовлювачі, також перевищує показники якості сиру, одержаного на сироробних ваннах, що зумовлено закритою конструкцією та гідродинамічною обстановкою в апараті. Крім того, в порівнянні з тими ж ваннами, сировиготовлювач займає меншу виробничу площу.

ВИСНОВКИ

1. Розроблено методику визначення в'язкості сирного згустка на універсальній випробувальній машині "Instron-1122", проведені експериментальні дослідження кінетики реологічних властивостей сирного згустка, на основі яких одержана емпірична залежність, що описує процес утворення сичужного згустка.

2. Проведено експериментальні дослідження процесу різання сичужного згустка, одержані емпіричні рівняння, що дозволяють визначити величини крутного моменту на приводному валу та зусилля різання в залежності від конструктивних факторів ріжучих ножів, реологічних властивостей сирного згустка та режимів різання.

3. Досліджені закономірності зміни адгезійних характеристик сирного згустка й сирного зерна по відношенню до різних матеріалів, в результаті чого встановлено доцільність покриття ріжучих ножів тонким шаром полімерного матеріалу, що дозволяє зменшити енергозатрати при різанні згустка на 40-50 %.

4. Досліджено процес вимішування сирного зерна в сировиготовлювачі та одержані напівемпіричні залежності, що дозволяють розрахувати енергозатрати в залежності від гідродинамічних режимів та робочого заповнення апарата.

5. Визначені закономірності вільного і солідарного осідання сирного зерна в сироватці та одержані емпіричні залежності, що дозволяють розрахувати швидкість осідання сирного зерна в залежності від його фізико-хімічного складу, технологічних факторів та концентрації сирного зерна в робочій суміші.

6. Проведено оптимізацію конструктивних параметрів робочих органів сировиготовлювача та режимів проведення гідродинамічних процесів обробки сирного зерна за втратами білка, жиру та енергетичним витратам.

7. На основі проведених досліджень розроблено і виготовлено (разом із спеціалістами УкрНДІАТу) універсальний прилад для визначення крутного моменту, що дозволяє проводити вимірювання на реальних об'єктах. Розроблено галузеві вихідні вимоги на розробку електропривода двох типорозмірів для сировиготовлювачів різної місткості.

8. Розроблено нову конструкцію високоефективного сировиготовлювача, виготовлені і впроваджені у виробництво:

- сировиготовлювач Я5-ОСЖ-1 місткістю 1000 л (випускається серійно);

- сировиготовлювач Я5-ОСЖ-1 місткістю 1000 л (випускається серійно);

- сировиготовлювач Я5-ОСЖ-10 місткістю 10000 л;

- сировиготовлювач Я5-ОСЖ-15 місткістю 15000 л;

9. Новизна роботи підтверджена і захищена авторськими свідоцтвами NN 1611286, 1670827, 1830652, 1839297, патентами України NN 4721, 4726, 9916 та позитивними рішеннями NN 4926736, 94076279.

За змістом дисертації опубліковані такі основні роботи:

1. Генінг В.Г., Савченко О.А. Високоефективне обладнання для виробництва сирного зерна. - Харчова і переробна промисловість, 1992, N 10, с. 26-28.

2. Генінг В.Г., Савченко А.А., Кузнецов В.В. Сыродельным цехам малой мощности - высокоэффективное оборудование для выработки сирного зерна. - В сб.: Процессы, аппараты и оборудование пищевой технологии. С-П.: С-ПТИХП, 1993. - с. 68-74.

3. Генінг В.Г., Савченко А.А., Кузнецов В.В. Исследование процесса разрезки сирного ступка с целью повышения эффективности работы сыроизготовителя. - В сб.: Процессы, аппараты и оборудование пищевой технологии. С-П.: С-ПТИХП, 1993. - с. 61-68.

4. Gening V.G., Savchenko A.A., Golovan' L.N., Guzva V.V. Spe-

ed of Cheese Grain Precipitation. - 24th International Dairy Congress. - Australia, 1994, p. 473.

5. Eressko G.A., Gening V.G., Savchenko A.A., Lopata P.V. Influence of Some Features of Cheese-Making Plant's Design on Heat Exchange. - 24th International Dairy Congress. - Australia, 1994, p. 475.

6. А.с. 1611286 (СССР). Сыроизготовитель / В.Г.Генинг, Ю.Т.Орлюк, С.И.Кимачинский, А.А.Савченко. - Опубл. в Б.И., 1990, N 45.

7. А.с. 1670827 (СССР). Аппарат для выработки сырного зерна / В.Г.Генинг, Ю.Т.Орлюк, С.И.Кимачинский, А.А.Савченко. - ДСП.

8. А.с. N 1830652 (СССР). Аппарат для выработки сырного зерна / Г.А.Ересько, В.Г.Генинг, Ю.Т.Орлюк, С.И.Кимачинский, А.А.Савченко. - ДСП.

9. А.с. N 1839297 (СССР). Аппарат для выработки сырного зерна / В.Г.Генинг, Ю.Т.Орлюк, С.И.Кимачинский, А.А.Савченко. - ДСП.

10. Сыроизготовитель / В.Г.Генинг, Ю.Т.Орлюк, С.И.Кимачинский, А.А.Савченко, С.И.Черняк - Положительное решение по заявке N 4926736 от 3.01.92. - ДСП.

11. Патент України N 4721. Сировиготовлювач / В.Г.Генинг, Ю.Т.Орлюк, С.І.Кімачинський, О.А.Савченко. 15.09.94.

12. Патент України N 4726. Апарат для вироблення сирного зерна / В.Г.Генінг, Ю.Т.Орлюк, С.І.Кімачинський, О.А.Савченко. 15.09.94.

13. Патент України N 9916. Апарат для вироблення сирного зёрна / Г.О.Ересько, В.Г.Генінг, Ю.Т.Орлюк, С.І.Кімачинський, О.А.Савченко. 17.10.96.

14. Генінг В.Г., Савченко О.А., Гужва В.В. Виробництво сиру в сировироблювачах нового покоління. - В зб.: Розробка та впровадження прогресивних технологій та обладнання у харчову та переробну промисловість. Тези доп. Всеукраїнської наук.-техн. конф. / УДУХТ. -

Київ, 1995, с. /179.

15. Генінг В.Г., Савченко О.А., Головань Л.М. Розробка технологій та комплекту обладнання для переробки молока на сир в умовах сільськогосподарських підприємств. - В зб.: Розробка та впровадження прогресивних технологій та обладнання у харчову та переробну промисловість. Тези доп. Всеукраїнської наук.-техн. конф. / УДУХТ. - Київ, 1995, с. 187.

Розроблені, затверджені і зареєстровані в Держстандарті такі нормативно-технічні документи:

1. "Сировиготовлювач марка Я5-ОСЖ-1" Технічні умови
ТУ 10-02-07-0084-90

2. "Сировиготовлювач марка Я5-ОСЖ-10" Технічні умови
ТУ 10-02-07-0091-90

3. "Сировиготовлювач марка Я5-ОСЖ-15" Технічні умови
ТУ 10-02-07-0112-91

4. "Сировиготовлювач марка Я5-ОС2Ж-1" Технічні умови
ТУ У 46.39.ГО.015-94

5. "Комплекс сироробний марка Я5-ОКС-1" Технічні умови
ТУ 10-02-07-0083-90

УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

d - діаметр, м;

F - площа, м²;

h - висота, м;

L - довжина, лінійний розмір, м;

l - лінійний розмір, м;

M - момент, Н·м;

N - потужність, Вт;

n - частота обертання, с⁻¹;

P - лобовий опір, Н;

$P_{рз}$ - зусилля різання, Н;

$P_{пит}$ - питоме зусилля різання, Н/м;

P_0 - адгезійний тиск, Па;

R - радіус, м;

z - різниця між радіусами, м;

S - товщина, м;

v - лінійна швидкість, м/с;

α - кут, град.;

η - коефіцієнт динамічної
в'язкості, Па·с;

λ - коефіцієнт концентрації сир-
ного зерна в сироватці;

μ - динамічна в'язкість середо-
вища, Па·с;

ρ - густина кг/м³;

τ - час, тривалість, с;

ψ - масова частка, %;

ω - кутова швидкість, с⁻¹.

Безрозмірні критерії та симплекси:

$$K_N = \frac{N}{\rho \cdot n^3 \cdot d_M^5} - \text{критерій потужності};$$

$$Re_B = \frac{\rho \cdot n \cdot d_M^2}{\mu} - \text{критерій Рейнольдса відцентровий};$$

$$\psi = \frac{l_n}{l_i} - \text{безрозмірний симплекс.}$$

Індекси:

в - відцентровий;

е - еквівалентний;

еф - ефективний;

ж - жирність;

к - контакт;

м - мішалка;

н - ніж;

нс - нержавіюча сталь;

ос - осідання;

п - полімерне покриття;

пит - питомий;

різ - різання;

с - середній;

ц - цирконій.

АННОТАЦІЯ

Савченко А. А. Исследование процессов гидродинамики, оптимизация режимов работы и конструкции сыроизготовителей. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.18.12 - процессы и аппараты пищевых производств, Украинский государственный университет пищевых технологий, Киев, 1997.

Защищается 16 научных работ и 9 изобретений, которые содержат теоретические и экспериментальные исследования процессов гидродинамики, протекающих в сыроизготовителях. Установлено, что на качество сырного зерна и выход готового продукта оказывают существенное влияние конструктивные особенности рабочих органов и режимы обработки. Разработана конструкция сыроизготовителя, позволяющая повысить выход готового продукта и улучшить его качество. Осуществлено промышленное внедрение сыроизготовителей данной конструкции вместимостью от 1000 до 15000 л, приводятся данные об эффективности их работы на промышленных предприятиях.

ANNOTATION

Savchenko A. A. Study of Processes of Hydrodynamics, Optimization of the Operating Conditions and Design of Cheese-making Plants.

Thesis for a Candidate of Sciences Degree (Technics), speciality 05.18.12 - Processes and Apparatus for Food Production, Ukrainian State University of Food Technologies, Kiev, 1997.

It is protected 16 scientific works and 9 inventions, which contain theoretical and experimental researches of processes of hydrodynamics, proceeding in cheese-making plants. It is established, that design features of working bodies and modes of processing render essential influence on qualities of cheese grain and output of a ready product. A design of cheese-making unit was developed, which makes it possible to increase an output of a ready product and to improve its quality.

Industrial introduction of cheese-making plants of the given design by capacity from 1000 up to 15000 l is carried out, data on efficiency of their work at the industrial enterprises are resulted.

Ключові слова: сировиготовлювач, сирне зерно, сирний згусток, гідродинаміка, в'язкість, різання, перемішування, адгезія, осідання.

Підп. до друку / 8.03.97 формат 60x84¹/16. Папір друк. № 8.
Обл.-вид.арк. 1,62 . Тираж 100 прим. Век. № п.п. 145

Український державний університет херсонської технічної
252601 Київ-33, вул.Володимирська, 68

AB 37.309