

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

МАЙБОРОДА ЮРІЙ ВАСИЛЬОВИЧ

УДК 637.234.2.001.8

ДОСЛІДЖЕННЯ ВИТРАТ ЕНЕРГІЇ НА СКОЛОЧУВАННЯ ВЕРШКІВ  
У МАСЛО З МЕТОЮ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ПРОЦЕСУ ТА  
РОЗРАХУНКУ ОБЛАДНАННЯ

05.18.12 – процеси та обладнання харчових, мікробіологічних і  
фармацевтичних виробництв

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Київ – 2003

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано в Технологічному інституті молока та м'яса Української академії аграрних наук, м. Київ

**Науковий керівник** – доктор технічних наук, професор, академік Української академії аграрних наук **Єресько Георгій Олексійович**, Технологічний інститут молока та м'яса УААН, директор

**Офіційні опоненти** – доктор технічних наук **Шурчкова Юлія Олександрівна**, НТК “Інститут технічної теплофізики” НАН України, головний науковий співробітник, заступник завідувача відділом тепломасообміну у дисперсних середовищах

– кандидат технічних наук, доцент **Шинкарик Марія Миколаївна**, Тернопільський державний університет ім. І. Пулюя Міністерства освіти і науки України, доцент кафедри технологічного обладнання харчових виробництв

**Провідна установа** – Одеська національна академія харчових технологій Міністерства освіти і науки України, м. Одеса

Захист дисертації відбудеться “ 18 “ лютого 2004 року о 14<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.058.02 Національного університету харчових технологій за адресою:

01033, м. Київ, вул. Володимирська, 68, ауд. A-311

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Національного університету харчових технологій за адресою: 01033, м. Київ, вул. Володимирська, 68

Автореферат розісланий “ 12 “ січня 2004 року

Вчений секретар спеціалізованої вченої ради,

к.т.н., доцент

В.Л. Зав'ялов

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Проблема енергозбереження в Україні взагалі й у молочній промисловості, зокрема, стоїть надзвичайно гостро. Процес сколочування вершків (процес одержання масляного зерна) - один з найбільш енергоємних процесів при виробництві масла. Енергія, що витрачається на сколочування вершків, є важливим показником процесу маслоутворення і залежить від конструктивних параметрів масловичовлювачів, технологічних параметрів та від фізико-хімічних властивостей вершків. У літературі дані по питанню енерговитрат на сколочування дуже обмежені і фрагментарні. Недосконалість у виборі параметрів сколочування, відсутність чіткості уявлень про фізико-хімічну сутність процесів, ведуть до високих енергетичних витрат, що знижують ефективність обладнання і є однією з причин підвищення собівартості готового продукту. Важливим напрямком зниження вартості масла є розробка ресурсозберігаючих режимів його виготовлення.

Дослідження цих проблем дозволить інтенсифікувати процес сколочування, зменшити енерговитрати, розробити рекомендації максимально повного та ефективного використання наявного технічного потенціалу і розробки нового обладнання.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами.** Виконана робота безпосередньо пов'язана з науково-технічною програмою Української Академії аграрних наук 1996-2000 рр.: тема № 394.96 “Дослідити енергорозподілення у процесі сколочування вершків у масло в залежності від технологічних, фізико-хімічних і гідромеханічних факторів з метою оптимізації процесів і вдосконалення маслоробного обладнання”. Дана програма входила у план фундаментальних науково-дослідних робіт ТІММ і являлася складовою частиною державних програм по створенню нових технологій і техніки УААН.

Дисертаційна робота виконувалася у відділі маслоробства ТІММ, автор був відповідальним виконавцем зазначеної програми. Створення експериментального стенду, планування й проведення досліджень, обробка та аналіз результатів дослідів виконано безпосередньо автором. Перевірка результатів досліджень та впровадження у виробництво виконано автором при участі фахівців маслоробних виробництв.

**Мета і задачі дослідження.** Мета дисертації полягає у обґрунтуванні параметрів процесу сколочування вершків, які б забезпечували мінімальні витрати енергії на процес; отриманні розрахункових залежностей для конструювання масловичовлювачів; розробці рекомендацій по уточненню режимів виробництва масла методом сколочування.

Задачі досліджень, виконання яких обумовлює досягнення поставленої мети:

- провести аналіз витрат енергії на сколочування вершків у промислових масловичовлювачах;
- дослідити вплив технологічних параметрів та гідромеханічних факторів на витрати енергії у процесі сколочування вершків;

- розробити рекомендації з уточнення режимів виробництва вершкового масла методом сколочування;
- розробити методику розрахунку потужності приводу циліндра сколочування маслоготовлювача безперервної дії.

**Об'єктом дослідження** є процес сколочування вершків; аналіз його з позиції зниження питомих витрат енергії.

*Предметом дослідження* були вершки жирністю 10-55%, молочний жир різного хімічного складу, маслянка, масло.

*Методи досліджень:* дослідження проведені на установці, яка дозволяє сколочувати вершки з безперервним виміром обертаючого моменту. Потужність на сколочування, розраховували по обертаючому моменту на валу мішалки. У дослідженнях застосовано комплекс сучасних фізико-хімічних та реологічних методів.

**Наукові положення**, що виносяться на захист:

- метод визначення оптимальних температур сколочування вершків, які забезпечують зниження питомих витрат енергії;
- критеріальне рівняння, яке описує процес сколочування вершків у маслоготовлювачах;
- емпіричне рівняння розрахунку витрат енергії на сколочування вершків в залежності від концентрацій жиру і кристалічної фази у вершках ;
- методика розрахунку потужності приводу циліндра сколочування в маслоготовлювачах безперервної дії.

**Наукова новизна отриманих результатів** полягає в наступному:

- уперше встановлена залежність витрат енергії на сколочування вершків від концентрації в них жирової фази, а також від співвідношення у жировій фазі кристалічного та рідкого жиру;
- визначена оптимальна концентрація кристалічної фази у жирі вершків (на рівні  $40 \pm 2\%$ ), яка забезпечує низькі енерговитрати на сколочування та мінімальний відхід жиру у маслянку;
- визначені дисперсні характеристики жирової емульсії вершків для літнього та зимового періодів року та залежність витрат енергії на сколочування вершків, від ступеня дисперсності в них жирової фази;
- встановлена залежність тривалості сколочування вершків від інтенсивності механічного впливу та ступеня дисперсності жирової фази;
- показана доцільність сколочування вершків підвищеної жирності для зниження сумарних витрат енергії на процес маслоутворення;

**Практичне значення отриманих результатів** полягає у тому, що на підставі проведених досліджень:

- розроблено “ Рекомендації з уточнення технології виробництва вершкового масла методом сколочування”, які забезпечують зниження витрат енергії на сколочування. Рекомендації перевірені на підприємствах України (Чаплинський маслосир-

завод, Дніпрорудненський сироробний комбінат, Чернігівський молзавод) та впроваджені у виробництво.

- отримано математичні залежності енерговитрат від технологічних параметрів та розроблено методику розрахунку потужності приводу масловиготовлювача безперервної дії (МБД). Розроблено ТЗ на МБД продуктивністю 500 кг/год.

- результати досліджень використані при розробці технології виробництва вершково-рослинного масла ТУ У 46.39.ГО. 177-97, пріоритет їх підтверджений патентами “Спосіб виробництва вершкового масла” №31132А та №34665.

**Особистий внесок здобувача** полягає у визначенні наукових задач досліджень, створенні експериментальної установки та розробці методики досліджень, плануванні та проведенні експериментів, обробці результатів дослідів, теоретичному аналізі та обґрунтуванні отриманих результатів, у підготовці їх до друку, формулюванні висновків, а також у практичній реалізації результатів роботи.

**Апробація результатів досліджень.** Основні положення дисертаційної роботи висвітлювалися й обговорювалися на:

- 67-й науковій конференції аспірантів і молодих вчених, УДУХТ, Київ 2001р.;

- VII Міжнародній науково-технічній конференції “Пріоритетні напрямки впровадження в харчову промисловість сучасних технологій, обладнання і нових продуктів оздоровчого та спеціального призначення”, УДУХТ, Київ 2001р.;

- Засіданнях Вченої Ради Технологічного інституту молока і м'яса УААН, Київ, за результатами роботи щорічно 1999-2002 рр.

**Публікації.** За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 8 наукових статей (п'ять з них у спеціалізованих наукових виданнях), 2 патенти, тези в матеріалах двох наукових конференцій, 2 статті в інформаційному збірнику робіт ТІММ.

**Структура та обсяг роботи.** Робота складається з вступу, чотирьох розділів, висновків та чотирьох додатків. Основний зміст роботи викладений на 130 сторінках машинописного тексту, вміщає 46 рисунків, 10 – таблиць, 7 сторінок – список використаних літературних джерел з 68 найменувань.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

**У вступі** розглянуто стан проблеми, обґрунтована наукова і практична актуальність теми дисертаційної роботи, мету досліджень і завдання, які необхідно, вирішити для їх виконання, показано наукову новизну та практичну цінність.

**Перший розділ** присвячений огляду літератури, у ньому розглянуто фізико-хімічні процеси у вершках при сколочуванні. Показано принципову подібність процесів маслоутворення в апаратах періодичної і безперервної дії. Наведені результати досліджень, факторів, що впливають на енерговитрати у процесі сколочування. За літературними даними проаналізовано енергетичні витрати при одержанні та сколочуванні вершків. Показано, що оцінка витрат енергії попередніми дослідниками

проводилася по відносним чи пропорційним величинам. Визначені основні технологічні та гідромеханічні параметри процесу сколочування, що потребують вивчення.

З розгляду процесу одержання масляного зерна, а також функціональних особливостей апаратів для виробництва, зроблені висновки про доцільність розробки й обґрунтування параметрів сколочування для забезпечення мінімальних енерговитрат та розширення розрахункової бази. Сформульовано мету та задачі дослідження.

**У другому розділі** описані методи досліджень та їх обґрунтування. За необхідністю змінювати параметри сколочування в широких межах, у промислових апаратах такі дослідження провести не можливо. Тому розроблено експериментальну установку, що дозволяє сколочувати вершки в умовах близьких до ізотермічних і визначати потужність на сколочування. Потужність розраховували по обертаючому моменту на валу мішалки, який вимірювали за допомогою пружного елемента. У якості енергетичного показника прийняті питомі витрати енергії, виражені в кДж/кг вершків. Описана конструкція установки, а також методика проведення дослідів.

Отримання та підготовка вершків до дослідів проводилася відповідно до технологічних інструкцій. Вивчення закономірностей зміни витрат енергії на сколочування в залежності від технологічних параметрів проводили в діапазоні температур 8-22°C та жирності вершків 10-55% з різним хімічним складом вершків. Хімічний склад вершків характеризували йодними числами молочного жиру (ЙЧ МЖ). Тривалість дозрівання вершків змінювали в межах від 0,5 до 18 год. У якості об'єкта досліджень були також вершки з комбінованою жировою фазою (молочний жир + рослинна олія). Вивчення енерговитрат в залежності від гідромеханічних факторів проводили шляхом зміни числа обертів мішалки 250-1600 об/хв., а також зміни ступеня заповнення робочої ємності установки від 15 до 100%. У дослідженнях застосований комплекс фізико-хімічних та реологічних методів: вміст жиру в молоці, вершках та маслянці - за ГОСТ 5867-90; дестабілізацію жиру - по методу Фавстовой; ступінь кристалічної фази у вершках - методом об'ємної дилатометрії; йодні числа за стандартною методикою; дисперсні характеристики вершків - методом мікроскопічного аналізу. Обґрунтовано методи математичної обробки.

**У третьому розділі** наведено результати досліджень енерговитрат на сколочування вершків в залежності від технологічних параметрів.

Потужність на сколочування вершків. Вивчено характер зміни потужності на сколочування вершків. Показано, що криві потужності відбивають характер зміни в'язкості системи (вершки-повітря) та фізико-хімічних процесів, що протікають на різних стадіях сколочування: піноутворення та диспергування повітряних бульбашок, утворення агрегатної структурованої піни і дестабілізація жирової емульсії, руйнування піни та утворення масляного зерна. Остання стадія характеризується максимальними витратами потужності ( 99,4 Вт/кг), що приблизно у 7 разів перевищує потужність для початкової стадії.

Вплив температури і концентрації кристалічної фази в жири вершків на енерговитрати у процесі сколочування. Важливим параметром процесу є температура сколочування вершків; технологічними інструкціями, вона рекомендована в дуже широкому діапазоні: від 8 до 16°C . У роботі визначені витрати енергії на сколочування вершків різної жирності і складу в залежності від температури (рис.1).

Показано, що обидві складові енергії – тривалість сколочування і потужність, а, отже і витрати енергії різко зростають ( у 6,5-10 разів) у міру зниження температури збивання. Ця залежність характерна для вершків будь-якої жирності та молочного жиру різного складу (літній, зимовий період року). Така закономірність обумовлена як підвищенням в'язкості вершків при зниженні температури, так і збільшенням у жировій фазі кристалічного жиру. Жирність маслянки – різко зростає понад нормативні значення при підвищених температурах сколочування (вище 16°C).

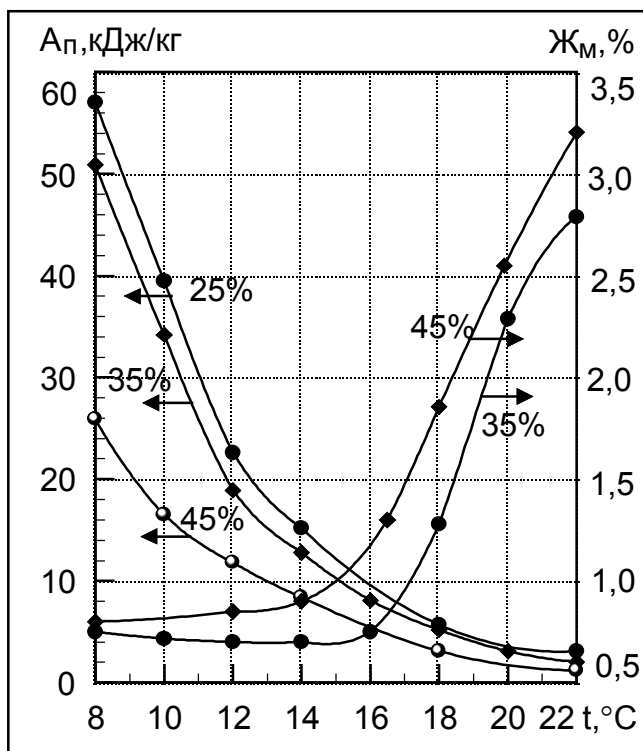


Рис.1. Залежність енергії на сколочування та жирності маслянки від температури сколочування. Жирність вершків вказана на рисунку.

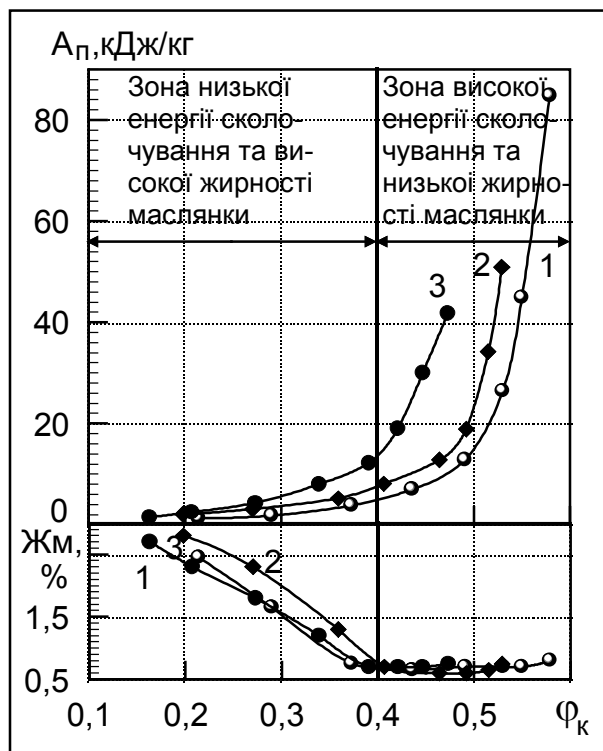


Рис.2. Залежність енергії на сколочування і жирності маслянки від частки кристалічної фази ( $\phi_k$ ) у жири вершків. Жирність вершків 35%; температура сколочування 8-22°C; періоди року: 1-зимовий; 2-осінне-зимовий; 3-літній.

Методом об'ємної дилатометрії проведені дослідження ступеня кристалізації молочного жиру вершків в умовах моделюючих температурно-часові режими дозрівання та сколочування. Встановлено, що готовність жирової фази до агрегації в умовах механічної обробки та утворення піни повинні визначатися більш загальним

показником – концентрацією кристалічної фази у жирі вершків. Остання у свою чергу залежить від хімічного складу молочного жиру та температурного впливу.

Результати досліджень, на рис.2., показують, що існують дві зони: зона низької енергії сколочування та високої жирності маслянки (концентрація кристалічної фази  $\varphi_k < 0,4$ ) і зона високої енергії сколочування та низької жирності маслянки ( $\varphi_k > 0,4$ ). Між ними (межа розділу) лежить оптимум кристалічної фази при  $\varphi_k = 0,4$ , при якій забезпечується порівняно низькі витрати енергії на сколочування і низька, не перевищуюча нормативну, жирність маслянки.

За результатами дослідження кількісних закономірностей кристалізації молочного жиру різного складу вдалося зв'язати температуру сколочування, що забезпечує у молочному жирі 40% твердої фази, із значеннями йодних чисел:

$$t_{ск} = 36,2 - 0,59 \cdot \text{ЙЧ} \quad (1)$$

де  $t_{ск}$  – температура сколочування вершків, °С;  
ЙЧ – йодне число молочного жиру.

Використовуючи цю залежність, можливо визначити у виробничих умовах рекомендовані температури сколочування за даними йодних чисел молочного жиру.

Вплив ступеня дисперсності вершків на енергетичні витрати при сколочуванні. У результаті досліджень була відзначена закономірність, відповідно до якої витрати енергії на сколочування при однаковій концентрації кристалічної фази у жирі вершків залежали від сезону року: у літній період ( ЙЧ МЖ 38,6), вони зростали, а в зимовий період ( ЙЧ МЖ 31,2), навпаки, знижувалися (рис.2).

Відносна стійкість емульсії вершків може бути обумовлена кількома факторами. Один з них - ступінь дисперсності жиру у вершках. Методом мікроскопічного аналізу отриманий розподіл частки жирової фази ( $J_{\phi}$ ) у жирових кульках (ЖК) різного діаметра (рис.3 ), визначені дисперсні характеристики вершків у зимовий та літній періоди року.

Результати досліджень (табл.1) показують, що дисперсні характеристики жирової фази вершків не постійні: літні вершки в порівнянні з зимовими містять ЖК меншого діаметру й об'єму, мають меншу поверхню, кількість їх у  $1 \text{ см}^3$  вершків у 1,5 разів більше.

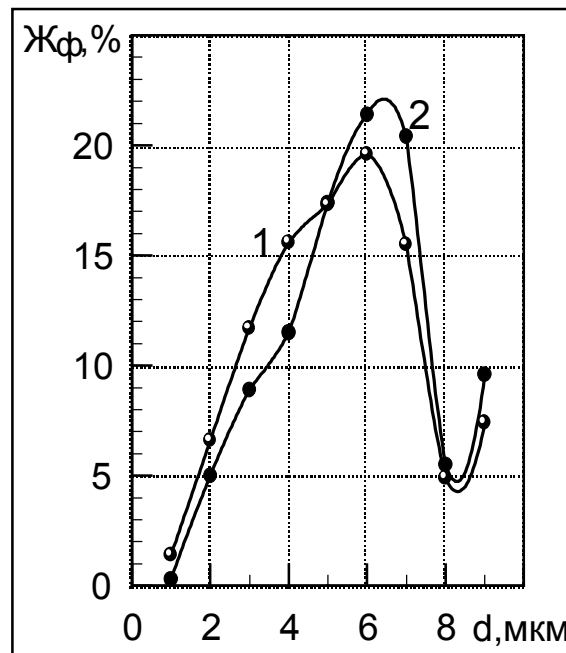


Рис.3. Гранулометричний склад вершків (частка жирової фази у ЖК різного діаметра):  
1 - літній період року;  
2 - зимовий період року.

У зв'язку з більш високим ступенем дисперсності жирової фази у вершках, енергія на їх сколочування повинна бути більшою, тому що термодинамічна стійкість ЖК зростає за інших рівних умов у міру зниження їх діаметру. Ця закономірність характерна для різних значень  $\phi_k$ , але в більшій мері виявляється в діапазоні високих концентрацій кристалічної фази в жирі вершків (див. рис.2).

Таблиця 1.

Дисперсні характеристики вершків у різні періоди року

Найменування показників		Значення дисперсних характеристик жиру вершків	
		Зимовий період (грудень-лютий)	Літній період (червень-серпень)
Середній діаметр жирових кульок (ЖК), мкм		3,72	3,23
Середній об'єм ЖК, мкм <sup>3</sup>		26,95	17,64
Площа поверхні ЖК, мкм <sup>2</sup>		43,47	32,78
Кількість ЖК у 1 см <sup>3</sup> , $N \cdot 10^9$ , шт., у вершках жирністю:	30%	11,13	17,01
	35%	12,99	19,84
	45%	16,70	25,51
Кількість зіткнень ЖК у 1 с у 1 см <sup>3</sup> , $J \cdot 10^{12}$ , у вершках жирністю:	30%	4,17	6,37
	35%	5,68	8,67
	45%	9,38	14,33

Дана закономірність уперше зв'язує енергетичні витрати на сколочування вершків з їх дисперсними характеристиками.

Вплив ступеня дозрівання вершків на витрати енергії при сколочуванні. Вивчення впливу тривалості дозрівання вершків показало, що в міру її збільшення витрати енергії на сколочування зростають у 2-3 рази і досягають максимальних значень через 4-5 год. дозрівання; надалі залишаються постійними майже до 20 год. (рис.4). Можна вважати, що всі основні зміни у вершках, що дозрівають (кристалізація жиру, підвищення в'язкості, зміни в оболонках ЖК проходять у перші 4-5 год. дозрівання.

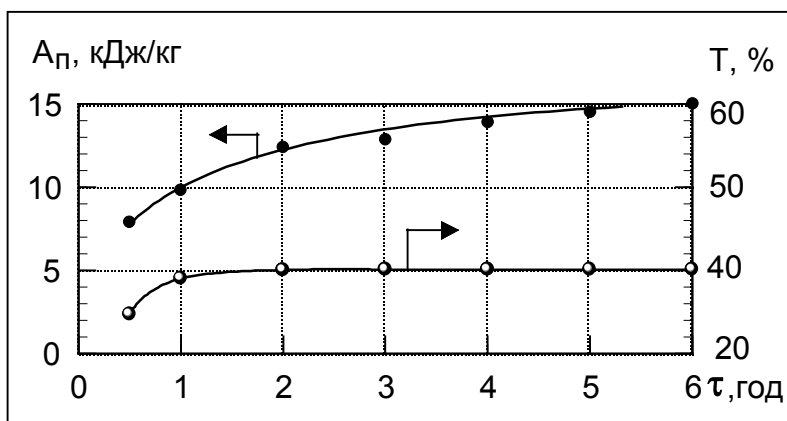


Рис.4. Залежність енергії на сколочування та вміст кристалічної фази ( $T$ ) у молочному жирі від ступеня дозрівання вершків.

Хоча слід зазначити, що понад 90% тригліцеридів здатних кристалізуватися при температурі дозрівання, переходять у кристалічний стан вже через 2 години.

Отже, підвищення витрат енергії на сколочування вершків, що дозрівають понад 2х годин (від 2 до 20), варто віднести вже не за рахунок процесів кристалізації жиру, а за рахунок властивостей оболонки ЖК – підвищення їхньої стійкості (міцності). Концентрація кристалічної фази, рекомендована нами, у жирі вершків на рівні 40% знайшла підтвердження у даних дослідіах.

Концентрація жирової фази, як фактор що визначає витрати енергії на сколочування. У розділі наведено результати досліджень витрат енергії від концентрації жирової фази у вершках у діапазоні жирності вершків 10-55% при температурах сколочування 10, 14, 18°C.

Витрати енергії на одержання масляного зерна складаються з двох складових (витрати енергії на сепарування + сколочування). Одержання вершків підвищеної жирності, при сепаруванні, характеризується зростанням питомих витрат енергії (рис.5., пряма 1).

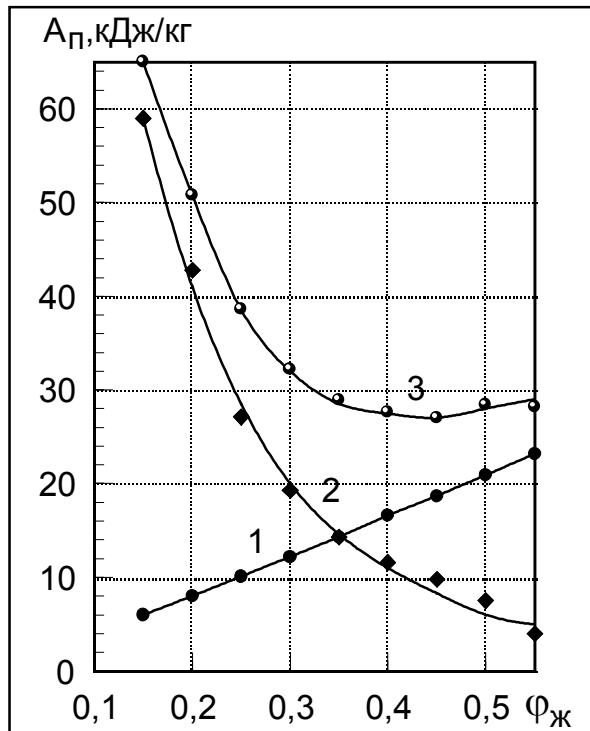


Рис.5. Залежність питомої енергії від частки жиру у вершках: 1- на сепарування; 2- на сколочування; 3-сумарна енергія на сепарування + сколочування.

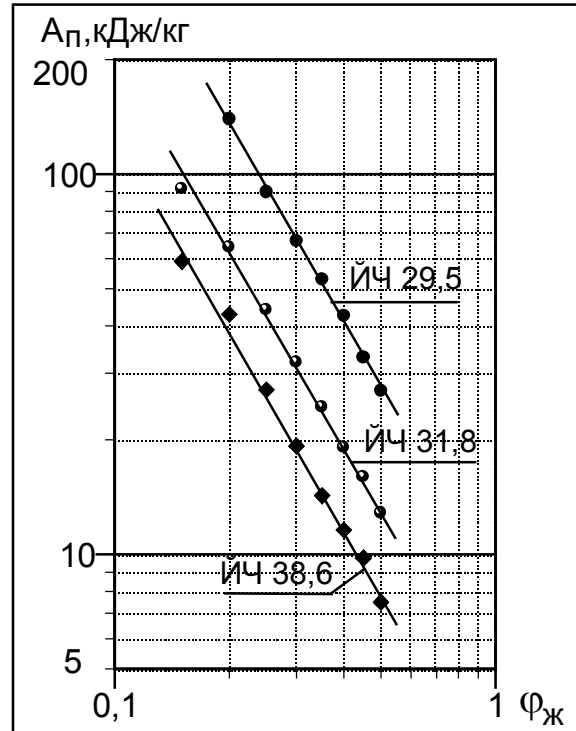


Рис.6. Залежність питомої енергії на сколочування від частки жиру у вершках. ЙЧ молочного жиру зазначені на рисунку.

Обидві складові енергії сколочування (питома потужність і тривалість сколочування) змінюються в залежності від жирності вершків у широких межах, однак, якщо питома потужність, у міру підвищення жирності вершків зростає, тому що пов'язана з підвищенням в'язкості вершків, то тривалість сколочування, навпаки, різко скорочується. Зниження жирності вершків з 50 до 30% приблизно вдвічі збільшує енергетичні витрати, а в області жирності нижче 30% ця закономірність виявляється

ще більш різко, головним чином за рахунок тривалості сколочування. Жирність маслянки практично залишається постійною в області  $\varphi_{ж}$  від 0,15 до 0,4.

Основним фактором, що обумовлює скорочення витрат енергії на сколочування при підвищенні жирності вершків, є збільшення концентрації ЖК в одиниці об'єму вершків, а отже і збільшення числа зіткнень жирових кульок при механічній обробці. Кількість зіткнень розраховується за рівнянням [H.Mulder, P.Walstra, 1974]:

$$J = \frac{2}{3} \cdot d^3 \cdot N^2 \cdot \varepsilon, \quad (2)$$

де  $J$  – число зіткнень ЖК у 1с у 1 см<sup>3</sup> вершків;

$d$  – середній діаметр ЖК, мкм;

$N$  – число ЖК в одиниці об'єму;

$\varepsilon$  – градієнт швидкості зрушення, с<sup>-1</sup>.

Як видно з рівняння (2), число зіткнень залежить від числа ЖК у другому ступені. В міру збільшення числа зіткнень ЖК тривалість сколочування вершків може знижуватися більш, ніж на порядок; причому в області до  $J=6,6 \cdot 10^{12}$  (жирність вершків нижче 35%) зниження тривалості сколочування набагато вища, ніж в області вище  $J=6,6 \cdot 10^{12}$  (жирність вище 35%).

Незважаючи на підвищення витрат енергії, необхідної для одержання висококонцентрованих вершків, загальні сумарні витрати енергії на сепарування молока та сколочування вершків 45% знижується на 16-30%, у порівнянні з вершками жирністю 30-25% (див. рис.5). Таким чином, істотного зниження енерговитрат на сколочування вершків можливо домогтися шляхом підвищення їхньої жирності.

Узагальнення результатів досліджень та обробка в логарифмічних координатах дозволила одержати математичну залежність питомої енергії на сколочування від частки жиру у вершках у діапазоні жирності  $\varphi_{ж}$  від 0,15 до 0,5 з різним складом молочного жиру (рис.6).

$$A_{п} = C \cdot \varphi_{ж}^{-1,8}, \quad (3)$$

де  $A_{п}$  – питома енергія на сколочування, кДж/кг;

$C$  – коефіцієнт, кДж/кг;

$\varphi_{ж}$  – частка жиру у вершках.

Коефіцієнт “С” залежить від хімічного складу молочного жиру і визначається із співвідношення:  $C=2 \cdot 10^{21} \cdot \text{ЙЧ}^{-14} + 2,1$

де  $\text{ЙЧ}$  – йодне число молочного жиру.

Розбіжність результатів витрат енергії, отриманих експериментальним шляхом та розрахованих за формулою (3), не перевищувала  $\pm 4,5\%$ .

Вплив кислотності вершків на витрати енергії при сколочуванні. З практики відомо, що при підвищенні кислотності вершків тривалість сколочування зменшується, у зв'язку з цим проведені досліди з визначення впливу кислотності на енерговитрати при сколочуванні. Діапазон зміни кислотності (кислотність плазми вершків

26,9-102,3°Т) включає значення показника, який використовується при виробництві кисло-вершкового масла.

Результати досліджень підтверджують загальну тенденцію, скорочення тривалості сколочування у міру підвищення кислотності. Однак питома потужність на збивання при цьому зростає, тому що при сквашуванні значно підвищується в'язкість вершків. Середня в'язкість при сколочуванні вершків, які не сквашували (температури сколочення порівнянні) складала  $\approx 0,09$  Па·с, що в 2-6 разів менше ніж для сквашених вершків. Витрати енергії на сколочування в міру підвищення кислотності вершків також зростають з 33,5 до 49,8 кДж/кг. Підвищення потужності на обробку сквашених вершків перекидає незначне зниження тривалості їх сколочування.

Показано, що витрати енергії на сколочування не сквашених вершків (попередні досліді) були в 1,5-2 рази нижче, ніж у всіх дослідіх сколочування кислих вершків. Це також пояснюється більш низькою в'язкістю не сквашених вершків.

Витрати енергії на сколочування вершків з комбінованою жирною фазою. Останнім часом поширилося виробництво масла з комбінованою жирною фазою. У даній роботі проведена оцінка витрат енергії на сколочування вершків зі складною жирною композицією (молочний жир + соняшникова олія). У дослідіх варіювали співвідношенням жирів у композиції (молочний жир : соняшникова олія) від 1:0 до 1:1 при температурах сколочування від 5 до 16°С.

Дані показують, що витрати енергії на сколочування вершків з комбінованим складом значно нижчі, ніж для звичайних вершків, особливо в межах низьких температур сколочування 8-10°С. Енергія на сколочування, як і в традиційному процесі знижується в міру підвищення температури. Однак підвищення температури сколочування вище 10°С, чи підвищення вмісту в основі рідкої олії понад 40% ведуть до різкого зниження кількості твердої структуроутворюючої фази, що сповільнює процес утворення масляного зерна і характеризується підвищеним відходом жиру у маслянку. Специфіка складу жиру обумовлює доцільність сколочування вершків при більш низьких температурах від 6 до 10°С.

При сколочуванні вершків з комбінованою жирною фазою знайшли підтвердження закономірності, що описувалися вище для звичайних вершків. Фактором, що визначає енерговитрати на сколочування, є концентрація в комбінованій жирній фазі кристалічного жиру. Концентрація якої, для даних систем знаходиться в межах 34-40%. Концентрація рослинної олії в композиції визначається з урахуванням хімічного складу молочного жиру. У літній період вона повинна бути нижче 20%, а в зимовий період може бути підвищена з урахуванням оптимального вмісту в композиції твердого жиру.

**У четвертому розділі** наведено результати досліджень енерговитрат на сколочування вершків в залежності від гідромеханічних параметрів.

Ступінь заповнення робочого об'єму циліндра для сколочування має важливе значення як з погляду створення оптимальних умов для піноутворення, так і з пози-

цій витрат енергії. Агрегація ЖК при сколочуванні вершків проходить, головним чином, у поверхні розділу плазму-повітря, тобто в піні. Але, при цьому не виключається можливість агрегації ЖК і в об'ємі вершків при їх ефективних зіткненнях.

Результати досліджень показують, що енерговитрати на сколочування практично постійні в області заповнення 15-50%, а надалі (заповнення вище 60%), коли можливості для утворення піни зменшуються енерговитрати різко зростають. Фактором, що визначає витрати енергії, є тривалість сколочування. При 100% заповненні, коли агрегація ЖК проходить тільки в об'ємі вершків, тривалість процесу зростає до 4,5 годин. Ступінь заповнення при якому забезпечуються мінімальні витрати енергії і мінімальний відхід жиру у маслянку складає 40-50%, що вказує на роль газової фази як прискорювача процесу сколочування.

Вплив інтенсивності механічної обробки. Процес маслоутворення у своїй основі – процес механічний. Отже, зближення ЖК, подолання енергетичного порогу, руйнування оболонок ЖК супроводжуються витратами механічної енергії. Для виявлення впливу інтенсивності механічної обробки на енерговитрати проведена серія дослідів по оцінці рівня потужності переданій системі. Інтенсивність обробки варіювали шляхом зміни числа обертів мішалки у діапазоні 250-1600 об/хв., при рівності технологічних параметрів і ступеня заповнення робочої ємкості.

Встановлено, чим вище інтенсивність обробки, тим швидше відбувається насичення вершків повітряною фазою з утворенням піни, що супроводжується підвищенням в'язкості і зростанням потужності, але при цьому тривалість процесу скорочується. Питомі енерговитрати на процес з різним ступенем механічної обробки характеризуються постійною величиною, тобто  $A_{\text{п}} = \text{const}$ . Припущення раніше висловлені Куком Г.А., Шуваловим В.М., Влодавцем І.М. про сталість енерговитрат на сколочування знайшли підтвердження в дослідях, але за умови рівності параметрів (ступінь зрілості, концентрація кристалічної фази, жирність, ступінь заповнення). Як показано вище, витрати енергії на сколочування від вище зазначених параметрів змінюються у широкому діапазоні. На підставі експериментальних даних з використанням отриманої залежності знайдено рівняння, що пов'язує середню питому потужність на сколочування із тривалістю сколочування:

$$N_{\text{ср}} = C \cdot \tau^{-1}, \quad (4)$$

де  $N_{\text{ср}}$  – середня питома потужність, Вт/кг (визначалася як,  $N_{\text{ср}} = A_{\text{п}}/\tau$ );

$C$  – коефіцієнт, отриманий шляхом дослідів, Вт·с/кг ;

$\tau$  – тривалість сколочування, с.

Коефіцієнт, що входить до рівняння (4) враховує як жирність вершків, так і кількість кристалічної фази в жирі вершків. Знайдено значення коефіцієнта “С” у діапазоні жирності вершків 30-45% при значеннях  $\phi_{\text{к}} = 0,4$ ,

$$C = 1,17 \cdot 10^3 \cdot \phi_{\text{ж}}^{-1,8},$$

де  $\phi_{\text{ж}}$  – частка жиру у вершках.

Порівняння експериментальних і розрахункових даних підтвердило якісно правильний опис процесу математичною моделлю.

Рівняння, що описує залежність потужності, яка витрачається на перемішування описується загальним критеріальним рівнянням:  $Eu_m = C \cdot Re_m^a$ ,

де  $Eu_m$  – критерій Ейлера для мішалки (критерій потужності);

$C$  - коефіцієнт;

$Re_m$  – критерій Рейнольдса для мішалки;

$a$  – показник ступеня.

Математично залежність критерію потужності від інтенсивності обробки за результатами дослідів виражається рівнянням:

$$\frac{N_{cp}}{d^5 n^3 \rho} = 1,49 \cdot 10^2 \left( \frac{d^2 \cdot n \cdot \rho}{\mu} \right)^{-1,14} \Rightarrow N_{cp} = 1,49 \cdot 10^2 \cdot \frac{d^{2,72} \cdot n^{1,86} \cdot \mu^{1,14}}{\rho^{0,14}} \quad (5)$$

де  $N_{cp}$  - середня потужність на валу мішалки, кВт/кг;  $\mu$  – в'язкість вершків, Па·с;

$d$  – діаметр мішалки, м;

$\rho$  – щільність вершків, кг/м<sup>3</sup>.

$n$  – число обертів мішалки, с<sup>-1</sup>;

Витрати енергії на сколочування з диференційованою по потужності механічною обробкою. Аналіз уривчастих літературних даних викликали сумнів у доцільності сколочування вершків при постійній швидкості обробки, особливо на стадії руйнування агрегатної піни. У зв'язку з викладеним, проведені досліді по сколочуванню вершків з диференційованої по потужності механічною обробкою. Досліді сколочування 35% вершків проводили при швидкості обертання мішалки 20 с<sup>-1</sup> (3,7 м/с). Визначивши тривалість сколочування, у наступних дослідіах переходили на останній стадії сколочування ( що складає 2/3 тривалості процесу) на меншу потужність обробки (13,3 - 4,14 с<sup>-1</sup>) при сталості технологічних параметрів.

По результатам дослідів можна зробити наступні висновки. Зниження інтенсивності обробки на останній стадії маслоутворення (в області існування агрегатної піни) сповільнює утворення масляного зерна. У підсумку загальна тривалість сколочування може збільшуватися в 2-3 рази. При цьому загальні питомі витрати енергії на сколочування незначно (на 10-15%) знижуються. В міру зниження інтенсивності обробки на стадії агрегатної піни жирність маслянки підвищувалася від 1 до 3%.

Таким чином незначне зниження енерговитрат на сколочування ніяк не може компенсувати більшу тривалість процесу і надмірно високу жирність сколотин.

Рівняння, що описує зв'язок витрат енергії на сколочування від концентрації кристалічної фази та жиру у вершках. Вище було показано, що питомі витрати енергії на сколочування не залежать від інтенсивності обробки, отже основними параметрами, що впливають на енерговитрати є жирність вершків і концентрація кристалічної фази у вершках яка залежить від хімічного складу молочного жиру.

Обробка результатів дослідів у логарифмічних координатах (рис.7) дозволила одержати математичні залежності витрат енергії від цих параметрів.

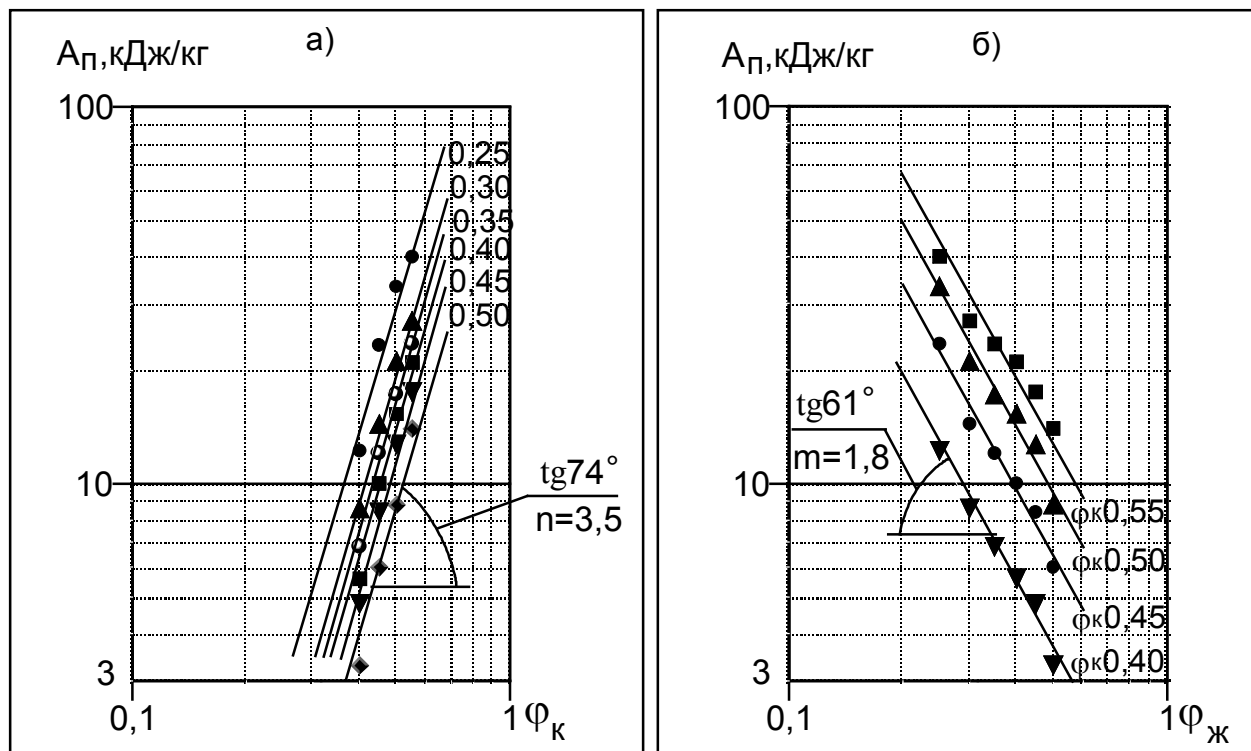


Рис. 7. Залежність витрат енергії на сколочування: а) від частки кристалічної фази в жири вершків; б) від частки жиру у вершках.

Рівняння залежності витрат енергії від частки кристалічної фази у жири вершків (рис.7-а) має вид:

$$A_{п(в)} = C \cdot \varphi_k^{3,5}, \text{ кДж/кг (вершків)} \quad (6)$$

де  $C$  – коефіцієнт (кДж/кг), що залежить від вмісту жиру у вершках (причому зі зменшенням вмісту жиру у вершках він зростає);

$\varphi_k$  – частка кристалічної фази у жири вершків.

Рівняння витрат енергії від частки жиру у вершках (рис.7 -б) має вид:

$$A_{п(в)} = C \cdot \varphi_{ж}^{-1,8}, \text{ кДж/кг (вершків)} \quad (7)$$

де  $C$  – коефіцієнт (кДж/кг) залежить від частки кристалічної фази в жири вершків;  
 $\varphi_{ж}$  – частка жиру у вершках.

У узагальненому виді рівняння енерговитрат на сколочування має вид:

$$A_{п(в)} = 29 \cdot \varphi_{ж}^{-1,8} \cdot \varphi_k^{3,5}, \text{ кДж/кг (вершків)} \quad (8)$$

Для визначення питомих витрат енергії на сколочування вершків необхідних для вироблення 1кг масла в рівняння (8) необхідно ввести коефіцієнт пропорційності «К». Цей коефіцієнт визначається з рівності  $K = \varphi_{ж(м)} / \varphi_{ж}$

де  $\varphi_{ж(м)}$  – частка жиру у маслі;

$\varphi_{ж}$  – частка жиру у вершках;

Рівняння отримане для вершків жирністю 25-50% і концентрації кристалічної фази в жирі вершків у діапазоні 0,55-0,4. Відносна погрішність отриманого рівняння що до дослідних даних не перевищує 12%.

Методика розрахунку потужності приводу масловичого вимісника. Вихідними даними є продуктивність МБД (кг/год), жирність вершків (%), температури сколочування ( $^{\circ}\text{C}$ ). Для проведення розрахунку необхідно задатися тривалістю сколочування, у МБД ( $\tau=1,85\div 2,4\text{с}$ ). Визначаються геометричні параметри циліндра сколочування: секундні витрати вершків, об'єм вершків у циліндрі сколочування, діаметр і довжина циліндра, перетин потоку, швидкість потоку вершків, радіальний зазор між стінкою циліндра і лопатою мішалки, ширина лопати мішалки. По прийнятих розмірах уточнюється час сколочування.

За вихідними даними визначаються питомі витрати енергії на сколочування використовуючи формулу (8). Розрахунок потужності ведеться за максимальними значеннями питомої енергії. Число обертів мішалки МБД визначається за рівнянням (5). Потужність приводу циліндра сколочування:  $N_{\epsilon} > N_{н} = N_{\text{с}} + N_{\text{а}}$  (9)

де  $N_{\epsilon}$  – потужність електродвигуна, кВт;

$N_{н}$  – номінальна потужність приводу циліндра сколочування, кВт;

$N_{\text{с}}$  – потужність на сколочування, кВт;

$N_{\text{а}}$  – потужність на подолання мішалкою аеродинамічного опору, кВт.

Обраний електродвигун необхідно перевіряти на перевантаження, з огляду на максимальний момент при утворенні масляного зерна - за загальноприйнятою методикою.

Дана методика може бути використана при проектуванні масловичого вимісника та навчальному процесі.

## ВИСНОВКИ

1. У дисертації дане наукове обґрунтування і вирішення проблеми зниження енерговитрат при сколочуванні вершків у масло. Шляхом застосування комплексу сучасних фізико-хімічних методів дослідження, а також з використанням спеціально розробленої експериментальної установки отриманий комплекс параметрів процесу, що забезпечують його інтенсифікацію. Результати використані для розрахунків маслоробного обладнання й удосконалення технології.

2. Встановлено витрати енергії на сколочування вершків у діапазоні температур сколочування  $8-22^{\circ}\text{C}$  та концентрацій кристалічної фази в жирі вершків  $\varphi_{\text{к}}=16-63\%$ . Співвідношення кристалічного і рідкого жиру у дисперсній фазі вершків, підготовлених до сколочування, є фактором який визначає енерговитрати на процес сколочування. Визначено оптимальну концентрацію кристалічної фази в жирі вершків  $40\pm 2\%$ , що забезпечує низькі витрати енергії на сколочування  $A_{\text{н}}=7,2\div 15,4$

кДж/кг та відхід жиру у маслянку 0,6-0,7%. Отримано залежність для розрахунку у виробничих умовах температур сколочування вершків.

3. Встановлено залежність витрат енергії на сколочування від жирності вершків у діапазоні  $\varphi_{ж}=0,15-0,5$ . Обґрунтовано доцільність сколочування вершків підвищеної жирності 40-45%, які забезпечують витрати енергії на рівні  $A_{п}=9,8\div 11,0$  кДж/кг. Зниження енерговитрат у міру підвищення жирності вершків обумовлено збільшенням числа ефективних зіткнень жирових кульок при механічній обробці.

4. Визначено дисперсні характеристики жирової емульсії (вершків) для зимового ( $d_{ср}=3,72$  мкм) і літнього ( $d_{ср}=3,23$  мкм) періодів року. Показано, що вершки літнього періоду року мають більш високий ступінь дисперсності молочного жиру у порівнянні з зимовим періодом. Це обумовлює підвищення витрати енергії на сколочування літніх вершків.

5. Енерговитрати на сколочування вершків з комбінованою жировою фазою (молочний жир та рідка рослинна олія) підкоряється тим же закономірностям, що і сколочування звичайних вершків; визначальним фактором є концентрація кристалічного жиру ( $\varphi_{к}=0,34-0,4$ ). Концентрація рідкої рослинної олії в композиції повинна визначатися з урахуванням хімічного складу молочного жиру на рівні 20-25%.

6. Витрати енергії на сколочування при заповненні ємкості циліндра сколочування на 15-50% постійні, а при збільшенні ступеня заповнення зростають. Це вказує на роль газової фази як прискорювача процесу сколочування.

7. Інтенсивність механічної обробки при рівності технологічних параметрів не впливає на витрати енергії ( $A_{п}=\text{const}$ ). Встановлено залежність тривалості сколочування від питомої потужності на сколочування вершків у діапазоні  $\varphi_{ж}=0,3-0,45$ .

8. Отримано емпіричну залежність витрат енергії на сколочування від концентрації жиру ( $\varphi_{ж}=0,25\div 0,5$ ) та змісту кристалічної фази ( $\varphi_{к}=0,4\div 0,55$ ), яка дозволяє розраховувати потужність приводу циліндра сколочування в масловиготовлювачах.

9. Рекомендовані режими сколочування вершків, перевірені і впроваджені на підприємствах України, забезпечують зниження витрат енергії на процес та економію електроенергії. Річний економічний ефект на одному підприємстві складає не менш 6 тис. грн. у рік.

### **Перелік опублікованих праць за змістом дисертації:**

1. Ересько Г.А., Майборода Ю.В., Гуляев-Зайцев С.С. Затраты энергии на сбивание сливок в масляное зерно // Молочная промышленность. –1999. –№5. – С. 34.

Особистий внесок: розробка конструкції експериментальної установки, проведення досліджень, обробка та узагальнення результатів, підготовка публікації.

2. Ересько Г.А., Майборода Ю.В., Гуляев-Зайцев С.С. Оптимизация режимов сбивания сливок в масло по энергозатратам // Вісник аграрної науки. – 2001. – № 1. – С. 68-70.

Особистий внесок: планування та проведення експериментальних досліджень, обробка та узагальнення результатів, розробка рекомендацій по уточненню режимів виробництва масла методом сколочування, підготовка публікації.

3. Майборода Ю.В. Методика розрахунку потужності приводу сколочувального циліндра масловичого вимірювача безперервної дії. // Вісник аграрної науки. – 2001. – № 5. – С. 82-83.

4. Майборода Ю.В. Вплив дисперсності жирової фази у вершках на витрати енергії при виробництві масла // Вісник аграрної науки. – 2002, – №7. – С. 78-79.

5. Майборода Ю.В. Концентрація кристалічної фази і дисперсність жиру вершків як фактори, що визначають витрати енергії на сколочування // Наукові праці УДУХТ. –Вип. №10, ч. II. –УДУХТ. –К. – 2001. – С. 120-121.

6. Eresko G.J., Guliajevas-Zaicevas S.S, Maiboroda Y.V Sviesto musimo energetika (Исследования удельных энергозатрат на сбивание сливок в масло) // Pienininkyste. – Vilnius. – 2000. – №1. – С. 22.

Особистий внесок: Огляд літератури, організація і проведення експериментальних досліджень, обробка результатів, підготовка матеріалів до публікації.

7. Майборода Ю.В. Как уменьшить затраты энергии на сбивание сливок в масляное зерно // М'ясо та молоко. – ТИММ УААН. –К. – 1998. – №6. – С. 1-4.

8. Майборода Ю.В. Рекомендации по уточнению технологии производства сливочного масла методом сбивания // М'ясо та молоко. – ТИММ УААН. –К. – 2000. – №1. – С. 5-8.

9. Пат. № 31132 А Україна, МПК А 23С 15/00. Спосіб виробництва вершкового масла / Гуляєв-Зайцев С.С., Єресько Г.О., Добронос В.Г., Майборода Ю.В., –№ 98073732; Заявл. 13.07.98; Опублік. 15.12.00. Бюл. № 7–II –с. 1.14.

Особистий внесок: проведення досліджень, обробка результатів, розробка режимів сколочування.

10. Пат. № 34665 А Україна, МПК А 23С 15/02. Спосіб виробництва вершкового масла / Гуляєв-Зайцев С.С., Добронос В.Г., Майборода Ю.В., Кравченко Г.І., –№ 98126545; Заявл. 11.12.98; Опублік. 15.03.01. Бюл. № 2 –с. 1.8.

Особистий внесок: проведення досліджень, обробка результатів, розробка режимів сколочування.

11. Майборода Ю.В. Дослідження залежності тривалості збивання вершків від потужності оброблення // Шоста міжнародна науково-технічна конференція: Тези. доп. –К.: УДУХТ. – 2000. ч. II. – С. 104-105.

12. Майборода Ю.В. Витрати енергії на концентрування жиру сепаруванням і сколочуванням // 67 Наукова конференція студентів, аспірантів і молодих вчених: Тези. доп. –К.: УДУХТ. – 2001. ч. II. – С. 148-149.

## АНОТАЦІЯ

Майборода Ю.В. Дослідження витрат енергії на сколочування вершків у масло з метою інтенсифікації процесу і розрахунку обладнання. - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.18.12 – процеси та обладнання харчових, мікробіологічних і фармацевтичних виробництв, Національний Університет харчових технологій. Київ, 2003.

Дисертація присвячена проблемі зниження витрат енергії на сколочування вершків у масло, обґрунтуванню й уточненню параметрів сколочування вершків і розширенню розрахункової бази для конструювання маслоробного обладнання.

З метою одержання об'єктивних даних, необхідних для обґрунтування режимів сколочування вершків, визначені питомі витрати енергії в залежності від технологічних факторів та гідромеханічних параметрів. Підібрано оптимальні сполучення енергетичних та технологічних параметрів, що забезпечують ефективність процесу сколочування і мінімальні відходи жиру у маслянку. Встановлено закономірність, що зв'язує енерговитрати на сколочування вершків з їх дисперсними характеристиками. Отримано емпіричні рівняння питомих витрат енергії на сколочування від частки кристалічної фази в жирі вершків, а також від жирності вершків. У критеріальному вигляді отримане рівняння, що описує процес сколочування вершків в апаратах з мішалками.

Розроблено методику розрахунку потужності приводу циліндра сколочування масловичотвювача безперервної дії та рекомендації з уточнення технології виробництва масла методом сколочування. Застосування рекомендованих параметрів сколочування вершків дозволяє знизити питомі витрати енергії на збивання на 20-25% інтенсифікувати процес і одержувати готовий продукт гарантованої якості.

Ключові слова: вершки, маслянка, масло, сколочування, витрати енергії, кристалічна фаза, жирність вершків, дисперсність, потужність, масловичотвювач.

## АННОТАЦИЯ

Майборода Ю.В. Исследование затрат энергии на сбивание сливок в масло с целью интенсификации процесса и расчета оборудования. - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.18.12 – процессы и оборудование пищевых, микробиологических и фармацевтических производств, Украинский национальный университет пищевых технологий. Киев, 2003.

Диссертация посвящена проблеме снижения затрат энергии на сбивание сливок в масло, обоснованию и уточнению параметров сбивания. Полученные результаты дают возможность интенсифицировать процесс сбивания сливок и расширить расчетную базу для конструирования маслodelьного оборудования.

До настоящего времени данные по вопросу о затратах энергии на сбивание сливок, имели весьма ограниченный и фрагментарный характер. В большинстве работ энергозатраты на сбивание выражены в относительных или пропорциональных единицах и позволяют лишь качественно судить о влиянии тех или иных факторов на затраты энергии. Не проводились исследования по обоснованию параметров сбивания с позиции снижения затрат энергии. Недостаточно изучено влияние химического состава молочного жира, степени его отвердевания и дисперсности жировой фазы сливок на затраты энергии в процессе сбивания сливок.

С целью получения объективных данных, необходимых для обоснования режимов сбивания сливок, разработана методика и экспериментальная установка для проведения комплексных исследований по определению удельных затрат энергии на сбивание в зависимости от технологических и гидромеханических параметров. Исследования проводились в Технологическом институте молока и мяса.

Изучен характер изменения мощности в процессе сбивания. Показано, что изменение мощности во время сбивания отражает характер изменения вязкости сливок и физико-химических процессов, происходящих на разных стадиях сбивания. Научные положения и выводы относительно реализации процессов сбивания сливок обоснованы с использованием последних теорий маслообразования. Результаты диссертации в определенной мере дополняют эти теории, поскольку они получены на базе исследований, которые моделируют процесс сбивания.

Установлено, что затраты энергии на сбивание сливок определяются физико-химическим состоянием и свойствами дисперсной системы сливок – эмульсии жира в воде: соотношением в жировой фазе сливок твердого и жидкого жира, а также концентрацией и степенью дисперсности жира в сливках. Определена оптимальная концентрация кристаллической фазы в жире сливок на уровне 40%, обеспечивающая низкие затраты энергии на сбивание и минимальный отход жира в пахту. Получена зависимость для расчета в заводских условиях оптимальных температур сбивания.

Обоснована целесообразность сбивания сливок повышенной жирности 40-45%, что обеспечивает снижение суммарных затрат энергии на получение и сбивание сливок. Показано, что снижение затрат энергии при сбивании сливок повышенной жирности обусловлено увеличением числа эффективных столкновений жировых шариков при механической обработке.

Методом микроскопического анализа определены дисперсные характеристики жира сливок в характерные зимний и летний периоды года. Установлена зависимость затрат энергии на сбивание сливок от их дисперсных характеристик. Показано, что сливки летнего периода года имеют более высокую степень дисперсности молочного жира и это обуславливает повышенные затраты энергии на их сбивание по сравнению с зимним периодом года.

Установлено, что при постоянстве технологических параметров (жирность сливок, концентрация кристаллической фазы в молочном жире, дисперсность жировой фазы, степень заполнения емкости) на сбивание сливок расходуется равное количество энергии независимо от интенсивности обработки. Получена зависимость, связывающая удельную мощность на сбивание с продолжительностью сбивания.

В результате исследований получена зависимость затрат энергии на сбивание от концентрации кристаллической фазы и жирности сливок, которая позволяет рассчитать мощность привода маслоизготовителей:

$$A_y = 29 \cdot \varphi_{\text{ж}}^{-1,8} \cdot \varphi_{\text{к}}^{3,5}, \text{ кДж/кг (сливок)}$$

где:  $\varphi_{\text{к}}$  – доля кристаллической фазы в жире сливок;  $\varphi_{\text{ж}}$  – доля жира в сливках.

Получена эмпирическая зависимость критерия мощности от интенсивности обработки для аппаратов мешалочного типа:

$$Eu_{\text{м}} = 1,49 \cdot 10^2 \cdot Re_{\text{м}}^{-1,14},$$

где  $Eu_{\text{м}}$  – критерий Эйлера (критерий мощности);  $Re_{\text{м}}$  – Рейнольдс для мешалки.

По результатам исследований разработана методика расчета мощности привода сбивального цилиндра маслоизготовителя непрерывного действия. Исследования сбивания сливок со сложной жировой композицией использованы при разработке технологии производства сливочно-растительного масла, приоритет их подтвержден двумя патентами. Разработаны рекомендации по уточнению режимов сбивания сливок, позволяющие снизить удельные затраты энергии на сбивание на 20-25%, интенсифицировать процесс и получать готовый продукт гарантированного качества.

Результаты экспериментальных исследований сопоставлены с данными промышленных образцов оборудования и проверены в производственных условиях на заводах Украины.

Ключевые слова: сливки, пахта, масло, сбивание, затраты энергии, кристаллическая фаза, жирность сливок, дисперсность, мощность, маслоизготовитель.

## ANNOTATION

Mayboroda Y.V. Research of expenses of energy on knocking down of cream in butter for intensity enhancement of process and designing of the equipment. - Manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of the candidate of engineering science, specialisation 05.18.12 - Processes and equipment for food, microbiological and pharmaceutical manufactures, National University of food technologies. Kiev, 2003.

The dissertation - is devoted to the problem of decrease of expenses of energy on knocking down of cream in butter, substantiation and amendment of parameters of knocking down of cream and expansion of calculation base for butter-making machine.

For reception true data, regimes of knocking down of cream, necessary for a substantiation, the expenses of energy rate are determined depending on technology factors and hydromechanical parameters. The optimum combinations of energy and technological parameters are picked up which provide efficiency of butter formation process and minimal fat residual with buttermilk. The regular law connecting expenses of energy on knocking down of cream with their dispersed characteristics is established. The empirical equations of specific expenses of energy on knocking down from a share of a crystal phase in fat of cream, and also from fat content of cream are received. The equation, describing process of knocking down of cream in devices with paddle mixer in criterion kind is received. The given equations are applicable for designing of devices for knocking down in buttermaker. The computational procedure of power of a drive of the cylinder of knocking down buttermaker of continuous action and recommendation for amendment of the technology of butter by a method of knocking down is worked out. The application of recommended parameters of knocking down of cream allows to lower expenses of energy for knocking down of cream on 20-25 %, for process intensity increasing and to receive a ready product of guaranteed quality.

Key words: cream, buttermilk, butter, knocking down, expense of energy, crystal phase, fat content of cream, dispersion, power, buttermaker.

Підп. До друку 02.12.2003р. Наклад 100 прим.

---

Зам. № К-21м12-03.

РВЦ НУХТ, 01033 Київ-33, Вул. Володимирська, 68