

ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

БЕЗБАХ ІГОР ВІТАЛІЙОВИЧ

УДК 664.046.6.002.5

ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ТЕРМООБРОБКИ НЕНЬЮТОНІВСЬКИХ ХАРЧОВИХ РІДИН В
АПАРАТІ З РОТАЦІЙНИМ ТЕРМОСИФОНОМ

Спеціальність 05.18.12-процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та
фармацевтичних виробництв

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Одеса-2002

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Одеській національній академії харчових технологій
Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник: -доктор технічних наук, професор **Бурдо Олег Григорович**, Одеська національна академія харчових технологій, завідуючий кафедрою процесів та апаратів

Офіційні опоненти: -доктор технічних наук, член-кор. НАН України **Снесжкін Юрій Федорович**, Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ, заступник директора

-кандидат технічних наук, доцент, **Титар Сергій Семенович**, Одеський національний політехнічний університет, професор кафедри теплових електричних станцій та енергозберігаючих технологій.

Провідна організація: -Національний університет харчових технологій, кафедра процесів і апаратів харчових виробництв та технології консервування, Міністерства освіти і науки України, м. Київ.

Захист відбудеться 20 грудня 2002 р. о 10-30 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 41.088.01 в Одеській національній академії харчових технологій за адресою: 65039, м. Одеса-39, вул. Канатна, 112.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Одеської національної академії харчових технологій за адресою: 65039, м. Одеса-39, вул. Канатна, 112.

Автореферат розісланий 19.11.2002 р.

Вчений секретар

Спеціалізованої вченої ради

Д.т.н, проф.

І.

Гапонюк О.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми.

Харчовою промисловістю виробляється і переробляється значна кількість продуктів, теплова і механічна поведінка яких відрізняється від ньютонівських рідин. До групи харчових неньютонівських рідин (ННР) можна віднести томатну пасту, різні пюре, кефір, згущене молоко та ін.

Розгляд властивостей харчових ННР показує, що енерговитрати при їхній обробці значно вищі в порівнянні з групою ньютонівських рідин. Теплофізичні властивості і специфічна поведінка ННР роблять неможливою інтенсифікацію процесів термообробки традиційними методами, крім того, при термообробці харчових ННР змінюється якість продукту в залежності від тривалості теплового впливу, йде процес інтенсивного створення накипу.

Для інтенсифікації процесу термообробки необхідно зруйнувати внутрішню структуру ННР і змусити її поводитися максимально близько до ньютонівської рідини. Цього можна досягти шляхом підвищення напруження, а також швидкості зсуву, тобто механічною обробкою. Напрошується висновок про необхідність одночасного теплового і механічного впливу на продукт.

Для рішення проблем термообробки ННР в промисловості використовують термомеханічні агрегати (ТМА).

Агрегати являють собою циркуляційні системи. В конструкціях ТМА слабким елементом є вузол ущільнення при підведенні пари і відводі конденсату. Герметизація вузла з'єднання ротора, який обертається, з підвідним нерухомим паропроводом і конденсатопроводом є технічно складною задачею. Крім того в апаратах втрачається енергія з конденсатом, який відводиться.

Таким чином основними проблемами термообробки харчових ННР є: зміна якості продукту, процес інтенсивного створення накипу, складна апаратурно-технічна реалізація процесу, високі енерговитрати.

Рішенням згаданих проблем є застосування нового класу апаратів на базі автономних двофазних теплопередаючих модулів (теплові труби, термосифони), за допомогою яких можливо реалізувати комплексний тепловий і механічний вплив на продукт і знизити енерговитрати на процес.

Зв'язок роботи з науковими програмами

Дисертаційна робота виконана відповідно до держбюджетної тематики науково-дослідних робіт (ІВиробництво, переробка і збереження сільськогосподарської продукції № 0100U4572).

Мета і задачі дослідження.

Метою роботи є створення термомеханічних агрегатів на основі ротаційних термосифонів (РТС), методів їх розрахунку та оптимізації.

Для досягнення поставленої мети необхідно:

- розробити модель термообробки ННР в апараті з РТС;
- встановити вплив конструктивних і режимних параметрів на інтенсифікацію тепловіддачі до продукту;
- дослідити внутрішню задачу кризи теплопередачі у РТС;
- узагальнити експериментальні дані і розробити методи розрахунку апарата з РТС для обробки ННР;
- розробити методи інженерного розрахунку та оптимізації апаратів із РТС.

Наукова новизна одержаних результатів.

У дисертації захищається наукове положення: комбінована теплова та механічна дія на

продукт за допомогою одного модуля, який працює в режимі випарниково-конденсаційного контуру, сприяє ефективному руйнуванню загального теплового та гідродинамічного приграничного шару, що збільшує інтенсивність процесів переносу та максимально наближує поведінку ННР до ньютонівських, при цьому ступінь інтенсифікації зростає із збільшенням в'язкості продукту.

У результаті аналітичних і експериментальних досліджень уперше:

1. Отримано теплову модель обробки харчових ННР, що враховує лінійний рух ННР при $Re_f < 1$ і при $1 < Re_f < 10^7$, а також вплив кута нахилу РТС, частоти обертання РТС, властивостей продукту, конструктивних параметрів РТС.
2. Розроблено методику досліджень процесу тепловіддачі в апаратах із РТС.
3. Отримано експериментальні залежності тепловіддачі в апараті з РТС для різних модельних рідин.
4. Отримано критеріальне рівняння для розрахунку інтенсивності тепловіддачі в апараті з РТС.
5. Розроблено методику розрахунку апарата з РТС для термомеханічної обробки харчових ННР.
6. Проведено аналіз енергетичної ефективності застосування апарата з РТС.

Практичне значення одержаних результатів.

- Експериментально підтверджено високу ступінь інтенсифікації процесів тепловіддачі в апараті з РТС стосовно до харчових ННР (2÷20 раз). За допомогою комп'ютерного моделювання виділено групу харчових ННР стосовно до яких апарат працює максимально ефективно. Таким чином апарат з РТС можливо рекомендувати для застосування в технологічних лініях по обробці харчових ННР в якості ефективного попереднього теплообмінника. Можлива заміна гріючої системи апаратів з сорочкою на модуль РТС.
- Необхідну поверхню, кількість теплопередаючих модулів апарата з РТС можливо отримати за допомогою розробленої інженерної методики, яка є основою комп'ютерної програми розрахунку апарата з РТС.
- На основі виконаних розрахунків для КП ІМурафський консервний завод, ефективність заміни нагрівальної системи вакуум-випарної установки на модуль РТС в лінії по виробництву яблучного повидла дає можливість скоротити час процесу обробки продукту в 1,4 рази, а також знизити витрати палива з 47,5 кг до 31,7 кг і зменшити питомі енерговитрати з 3,8 МДж/кг до 2,5 МДж/кг. Проект знаходиться в стадії розробки конструкторської документації.

Особистий внесок здобувача.

Полягає у формулюванні і доказі наукових положень дисертації, розробці моделей, пропозиціях по постановці і методикам комплексних експериментальних досліджень, проведенні дослідів, аналізі та узагальненні результатів досліджень, виступі з доповідями на конференціях, публікації одержаних результатів, впровадженні результатів дисертаційної роботи.

Апробація результатів дисертації

Основні результати роботи доповідалися на щорічних науково-технічних конференціях професорсько-викладацького персоналу і наукових співробітників ОДАХТ 1999-2002 р., на VII міжнародній науково-технічній конференції професорсько-викладацького персоналу і наукових співробітників УДУХТ ІПріоритетні напрями впровадження в харчову промисловість сучасних технологій, обладнання і нових видів продуктів оздоровчого та спеціального призначення (УДУХТ м. Київ, 2001 р.), міжнародній науково-практичній конференції ІРегіональні проблеми енергозбереження в

децентралізованій теплоенергетиці (Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ, 2000 р.), міжнародній науково-практичній конференції Проблеми промислової теплотехніки (Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ, 2001 р.), на XVII міжнародній конференції Process engineering in prevention of environment (Opole, Poland, 1999), на X міжнародній конференції Вдосконалення процесів та апаратів хімічних та харчових виробництв (ІССЕ-99, м. Львів, 1999 р.), третій міжнародній науково-практичній конференції ХЛБООПРОДУКТИ-2000 Галузь хлібопродуктів на порозі III тисячоріччя (ОДАХТ, м. Одеса, 2000 р.), міжнародній науково-практичній конференції Інтегровані технології та енергозбереження ІТЕ-2001 (м. Харків, 2001 р.), обласній науково-технічній виставці-семінарі Перспективи впровадження енергозберігаючих технологій та обладнання на підприємствах і в установах Одещини (м. Одеса, 2000 р.), міжнародній науково-практичній конференції Современные энергосберегающие тепловые технологии (Росія, м. Москва, 2002 р.), 4-й міжнародній науково-практичній конференції Управління енерговикористанням (м. Одеса, 2001 р.). Макет установки експонувався на міжнародних виставках Енергоефективність альтернативна енергетика та екологічно чисте довкілля, Юхорона довкілля та екологія людини (Палац мистецтв Український дім м. Київ, 2002 р.), виставці Молоді науковці майбутньому України (ОЦНТІ, м. Одеса, 2002 р.), міжнародній виставці Клімат Еко-Тех (Виставочний центр морвокзалу, м. Одеса, 2002 р.), міжнародній виставці Дні продуктів і напоїв (Виставочний центр морвокзалу м. Одеса, 2002 р.).

Публікації

За результатами дисертації опубліковано 13 робіт, у тому числі 6 у збірниках наукових праць, 4 у збірниках матеріалів конференцій, 2 у науково-практичних журналах, 1 у міжнародному науково-практичному журналі.

Структура та обсяг роботи

Дисертаційна робота складається з вступу, 4 розділів, висновків, списку використаної літератури та 1 додатку (3 сторінки). Основний зміст викладений на 71 сторінці машинописного тексту, містить 55 рисунків (30 сторінок), 11 таблиць (4 сторінки), список літератури з 123 найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність теми, сформульовані мета і задачі досліджень, наукова новизна і практичне значення одержаних результатів.

У першому розділі, на основі виконаного аналізу властивостей ННР, запропонована класифікація неньютонівських харчових рідин.

Розглянуто поведінку харчових ННР в залежності від граничного напруження (t_0) та швидкості зсуву (dw/dn). Обрано діапазон граничних напружень і швидкості зсуву (рис. 1), в області яких неньютонівські харчові рідини поведуться максимально близько до ньютонівських. Таке наближення необхідне для коректності проведення експерименту.

Рис. 1 Діапазон граничних напружень та швидкостей зсуву.

Розглянуто термомеханічне устаткування, яке застосовується в промисловості для обробки ННР, виявлені його недоліки і слабкі елементи. Показано необхідність пошуку нових методів інтенсифікації стосовно до ННР. Проаналізовано світовий досвід застосування теплових труб і термосифонів як ефективних автономних теплопередаючих модулів. Запропоновано класифікацію термомеханічних агрегатів. Її розвитком є новий клас-автономні термомеханічні агрегати на основі РТС. Виділено особливості і переваги апаратів з РТС у порівнянні з відомими типами теплообмінних апаратів. Обґрунтовано необхідність застосування автономних апаратів з РТС для обробки харчових ННР і сформульовані загальні задачі досліджень.

Другий розділ присвячений моделюванню процесів в апараті з РТС (рис. 2).

При підведенні енергії до випарника 8, в ньому утворюється пара теплоносія, яка поступає в конденсатор РТС 2. Система конденсатор-випарник відвакуумована і утворює ротаційний термосифон. Продукт стикається з конденсатором РТС, здійснюється його термообробка. Пара теплоносія конденсується і під дією сил тяжіння повертається у випарник. Таким чином в РТС здійснюється замкнутий випарниково-конденсаційний цикл.

Моделюючи процеси в апараті з РТС, необхідно розділяти задачу на внутрішню і зовнішню. При постановці внутрішньої задачі зроблений аналіз факторів, що впливають на інтенсивність теплопередачі в ротаційних термосифонах.

Рис. 2. Схема апарата з РТС з місцевим розрізом конденсатора: 1-корпус; 2-конденсатор РТС; 3-завантажувальна горловина; 4-вивантажувальна горловина; 5-привід; 6-шарнір; 7-елекричні щітки; 8-випарник РТС. Позначки: D-діаметр конденсатора РТС; $F_{\text{Ц}}$ -відцентрова сила; F_g -сила тяжіння; γ -кут нахилу РТС.

Визначено функцію критичного числа Фруда Fr_k , при якому настає замикавання конденсату в трубках конденсатора:

$$Fr_k = \frac{n^2 D}{g \sin \gamma} \quad (1)$$

де n -частота обертів РТС. Умова, при якій наступить криза теплопередачі в конденсаторі РТС- $Fr_k < 1$.

Розроблено методику узагальнення результатів експерименту. Сумарне число Нусельта (Nu) дорівнює сумі чисел Нусельта при лінійному русі продукту (Nu_l) і при перемішуванні (Nu_n):

$$Nu = Nu_l + Nu_n \quad (2)$$

В залежності від значення лінійного числа Рейнольдса (Re_l) Nu_l розраховували по

Таблиця 1

Лінійна розрахункова модель

$$1 < Re_l < 10^7 \quad Re_l < 1$$

$$Nu_{\text{лам}} = 0,664 \sqrt{Re_l} \sqrt[3]{Pr} \quad Nu_{\text{турб}} = \frac{0,037 Re_l^{0,8} Pr}{1 + 2,443 Re_l^{-0,1} (Pr^{2/3} - 1)}$$

$$Nu_l = 0,3 + \sqrt{Nu_{\text{лам}}^2 + Nu_{\text{турб}}^2} \quad Nu_l = 0,75 \sqrt[3]{Re_l Pr}$$

формулам таблиці 1. В рівняннях таблиці 1: $Nu_{\text{лам}}$ -число Нусельта при ламінарному русі продукту, $Nu_{\text{турб}}$ -число Нусельта при турбулентному русі продукту.

При постановці зовнішньої задачі на основі принципів методу аналізу розмірностей отримана структура рівнянь для розрахунку коефіцієнта тепловіддачі α . У загальному виді рівняння, отримане за допомогою методу аналізу розмірностей виглядає таким чином: $Nu_n = f(Re_l, Re_m, Pr, g/g_0)$, чи:

$$\frac{\alpha d}{\lambda} = A \cdot \left(\frac{\omega d \rho}{\mu} \right)^{k_1} \cdot \left(\frac{\mu C_p}{\lambda} \right)^{k_2} \cdot \left(\frac{\rho d^2 n}{\mu} \right)^{k_3} \cdot \left(\frac{\gamma}{\gamma_0} \right)^{k_4} \quad (3)$$

де $Nu_n = (\alpha d / \lambda)$ -число Нусельта при перемішуванні, A -константа рівняння, $Re_l = (\omega d r / \mu)$ -

лінійне число Рейнольдса, $Re_M=(rd^2n/m)$ -число Рейнольдса модифіковане, $Pr, (mC_p/l)$ -число Прандтля, g -кут нахилу конденсатора РТС, g_0 -початковий кут нахилу конденсатора РТС, k_1, k_2, k_3, k_4 -показники ступеня.

Розроблено методи експериментального моделювання, проведена оцінка погрішності експерименту. Помилка складає 12 %. Визначення показників ступеня k_1, k_2, k_3, k_4 , константи A є метою експериментальних досліджень.

У третьому розділі в ході експериментальних досліджень вивчена кінетика теплообміну в залежності від типу продукту, а також від конструктивних параметрів РТС. Діапазон експериментального моделювання відображено в таблиці 2. Досліджено вплив кута нахилу РТС (g), частоти обертання РТС (n), витрат (W), властивостей продукту (r, l, m, C_p), його концентрації (a) на інтенсивність тепловіддачі (рис. 3-6). Модельні рідини обрано таким чином, що їх властивості змінюються від ньютонівської рідини (вода) до мастила Т-46-неньютонівської рідини. Коефіцієнт тепловіддачі зростає із збільшенням частоти обертів РТС, витрат продукту, його концентрації. Проведені дослідження доводять ефективність застосування апарата з РТС до рідин ньютонівської групи.

Таблиця 2

Діапазон експериментального моделювання			
Продукт конденсаторі, Р	Витрати, $W \cdot 10^6$ m^3/c	Нахил РТС, g град. c^{-1}	Частота обертів, n МПа
Вода	0÷17	15÷30	0÷0,8
Цукровий р-н. ($a=10\div30\%$)	0÷3	30	0÷3
Мастило Т-46	0÷7	5÷20	0÷20
Абрикосове пюре	0	20	

Для води-ньютонівської рідини, коефіцієнт тепловіддачі зростає із збільшенням частоти обертів, кута нахилу РТС, витрат. Значний вплив на тепловіддачу має величина витрат модельного продукту. Про це свідчить розшарування одержаних залежностей (рис. 3).

Рис. 3. Коефіцієнт тепловіддачі до води ($g/g_0=15^0$).

Рис. 4. Коефіцієнт тепловіддачі до цукрового розчину ($g/g_0=30^0$).

Для цукрового розчину різної концентрації-слабоненьютонівської рідини, вплив витрат на тепловіддачу не такий значний, як для води-значення коефіцієнтів тепловіддачі без перемішування незмінні ($a_0 \approx 280 \text{ Вт/м}^2\text{ЧК}$). Значний вплив на тепловіддачу має частота обертів РТС (рис. 4).

Для мастила Т-46-неньютонівської рідини, якісний характер залежностей найбільш виражений-значення коефіцієнтів тепловіддачі без перемішування незмінні ($a_0 \approx 20 \text{ Вт/м}^2\text{ЧК}$), тепловіддача при зростанні обертів максимальна (рис. 5,6). Спостерігається значний вплив кута нахилу на тепловіддачу. Це можна пояснити поліпшенням гідродинамічного стану в конденсаторі РТС.

Рис. 5. Коефіцієнт тепловіддачі до мастила Т-46 ($g/g_0=5^0$).

Рис. 6. Коефіцієнт тепловіддачі до мастила Т-46 ($g/g_0=15^0$).

За ступінь інтенсифікації процесу прийнято співвідношення a/a_0 . Ступінь інтенсифікації для води становить $a/a_0=2$ (рис. 7). Інтенсифікації процесу за рахунок збільшення витрат продукту та кута нахилу РТС практично не спостерігається. Для цукрового розчину $a/a_0=2\text{÷}3$ (рис. 8). Ступінь інтенсифікації зростає із збільшенням витрат продукту та концентрації.

Рис. 7. Ступінь інтенсифікації для води.

Рис. 8. Ступінь інтенсифікації для цукрового розчину ($g/g_0=30^0$).

Ступінь інтенсифікації для абрикосового пюре $a/a_0=3$ (рис. 9), мастила Т-46- $a/a_0=10\text{÷}20$ (рис. 10).

Обробка масиву експериментальних даних в числах подібності (рис. 11,12) дозволяє рекомендувати для розрахунку середнього значення коефіцієнта тепловіддачі співвідношення (2), де:

$$Nu_n=0,1 (1+Re_M)^{0,4} (1+Re_l)^{0,33} Pr^{0,43} (g/g_0)^{0,28} \quad (4)$$

Порівняння експериментальних значень чисел Нусельта (Nu_e) та розрахункових (Nu_p) за (4) показує, що помилка не перевищує $\pm 12\%$.

Рис. 9. Ступінь інтенсифікації для абрикосового пюре ($g/g_0=20^0$).

Рис. 10. Ступінь інтенсифікації для мастила Т-46 ($g/g_0=20^0$).

Рис. 11. Залежність $Nu_n/(1+Re_l)^{0,33} Pr^{0,43} (g/g_0)^{0,28} = f(Re_M)$.

Рис. 12. Залежність $Nu_e = f(Nu_p)$.

У четвертому розділі наведена інженерна методика розрахунку термомеханічних агрегатів (ТМА) з РТС. Методика представлена у вигляді узагальненої структури розрахунку і набору блок-схем для розрахунку самостійних етапів (рис. 13).

Рис. 13. Загальний алгоритм розрахунку ТМА.

Ключовим моментом методики теплового розрахунку є основний результат експериментального моделювання-узагальнена критеріальна залежність (4) (рис.14).

Рис. 14. Блок-схема теплового розрахунку апарата. Позначки: D -діаметр конденсатора РТС; d - діаметр трубки конденсатора РТС; t_2 -кінцева температура продукту; t_1 -початкова температура продукту; t_T -температура теплоносія; t_{cp} -середня температура продукту; w -швидкість плинину продукту; m -вага продукту (для апарату періодичної дії); Dt -час нагріву продукту (для апарату періодичної дії); W -витрати продукту (для апарату неперервної дії), a_1 -коефіцієнт тепловіддачі при конденсації пари теплоносія, d -товщина стінки конденсатора, λ_{CT} -теплопровідність стінки конденсатора.

Загальний алгоритм розрахунку ТМА реалізований в інструментальній оболонці Visual Basic. Програма дає високий ступінь точності (рис. 15) при розрахунках коефіцієнтів тепловіддачі (у межах 12%). Програму використано для дослідження кризи теплопередачі у РТС (рис. 16), проведення комп'ютерного моделювання процесу тепловіддачі в апараті з РТС для різних типів харчових ННР (рис. 17, 18), встановлення для них ступеня інтенсифікації процесу (рис. 19, 20).

Рис. 15. Порівняння експериментальних та розрахункових даних ($W=1\text{Ч}10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$; $g=30^0$).

Рис. 16. Криза теплопередачі ($W=1\text{Ч}10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$). Таким чином отримано діапазон ефективної роботи апарата з РТС в залежності від частоти обертів та кута нахилу конденсатора ($n=2,7\text{є}9 \text{ с}^{-1}$, $g/g_0=5\text{є}90^0$) (рис. 16). На рисунку області, в яких $F_{г1}$, виділено темним кольором.

Рис. 17. Значення коефіцієнтів тепловіддачі ($g/g_0=30^0$; $W=0 \text{ м}^3/\text{с}$).

Рис. 18. Значення коефіцієнтів тепловіддачі ($g/g_0=30^0$; $W=0,2\text{Ч}10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$).

Рис. 19. Ступінь інтенсифікації ($g/g_0=30^0$; $W=0 \text{ м}^3/\text{с}$).

Рис. 20. Ступінь інтенсифікації ($g/g_0=30^0$; $W=0,2\text{Ч}10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$).

Ступінь інтенсифікації для групи харчових бінгамовських ННР, особливо для томатної пасти, яблучного пюре, складає 2,5є6 (рис. 19,20). Він значно вищий в порівнянні з іншими харчовими ННР.

Для врахування теплофізичних властивостей рідин при комп'ютерному моделюванні процесу тепловіддачі отримано їх функції від температури (t) та концентрації (a) (кількості сухих речовин). Наприклад, для яблучного пюре такі властивості наведено в таблиці 3.

Таблиця 3.

Теплофізичні властивості яблучного пюре			
Густина, $\text{кг}/\text{м}^3$	Теплопровідність, $\text{Вт}/\text{мЧК}$	Теплоємність, $\text{Дж}/\text{кгЧК}$	В'язкість, ПаЧс
$\rho=1250+4,4\text{Ч}a-0,53\text{Ч}t$	$\lambda=(400-4,04\text{Ч}a+2,05\text{Ч}t)\text{Ч}10^{-3}$	$C_p=3600-20,9\text{Ч}a-10,88\text{Ч}t$	$m=0,004\text{Ч}a^{2,94}\text{Ч}t^{-1,17}$

Для зручності інженерних розрахунків апаратів побудована номограма (рис. 21).

Рис. 21. Номограма для визначення коефіцієнту тепловіддачі a.

В першому квадранті номограми вибираємо необхідний продукт і температуру його обробки, переходимо в другий квадрант-одержуємо число Прандтля при заданих умовах. В третьому квадранті вибираємо необхідну величину витрат продукту, в четвертому-кут нахилу РТС. В результаті, в п'ятому квадранті одержуємо коефіцієнт

тепловіддачі для заданого продукту при заданій частоті обертів конденсатора РТС. При застосуванні базової схеми обробки яблучного пюре енергія палива (\dot{Q}_Π) трансформується в енергію гріючої пари ($\dot{Q}_Г$), пара транспортується до апарата. Виникають втрати при спалюванні палива ($Q_{вт1}$), в парогенераторі ($Q_{вт2}$), при транспортуванні пари до апарату ($Q_{вт3}$), від стінок апарату ($Q_{вт4}$), з конденсатом, який відводиться ($Q_{вт5}$) (рис 22 а).

Рис. 22. Модель трансформації, транспортування, втрат енергії : а) базова схема; б) схема з РТС.

Виходячи з результатів комп'ютерного моделювання зроблені розрахунок і аналіз ефективності застосування апарата в лінії по виробництву яблучного повидла. Термообробка продукту організована слідуєчим чином: яблучне пюре з початковою концентрацією сухих речовин ($a_\Pi=11\%$) нагрівають в вакуум випарному апараті до температури кипіння ($t_{кип.}=75^\circ\text{C}$), при тиску в апараті ($p_{ап.}=0,034\text{ МПа}$).

Таблиця 4.

Ефективність ТМА в технології виробництва яблучного повидла

Базова схема Термомеханічний агрегат ($n=6,7\text{ с}^{-1}$).

Нагрів пюре до кипіння

$Dt_1=200\text{ с}$ $Dt_1=150\text{ с}$

Випарювання пюре до $a_1=16\%$

$Dt_2=1470\text{ с}$ $Dt_2=1020\text{ с}$

Нагрів пюре з цукром до кипіння

$Dt_3=10\text{ с}$ $Dt_3=7\text{ с}$

Випарювання суміші

$Dt_4=2400\text{ с}$ $Dt_4=1660\text{ с}$

$et=4080\text{ с}$ $et=2840\text{ с}$

Після чого випарюють пюре до концентрації сухих речовин ($a_1=16\%$), додають цукровий розчин, нагрівають отриману суміш до температури кипіння, випарюють отриману суміш до концентрації сухих речовин ($a_K=65\%$). Тривалість окремих етапів термообробки приведено в табл. 4 (базова схема). Застосування апарата з РТС в лінії виробництва яблучного повидла дає можливість скоротити час процесу обробки продукту в 1,4 рази (табл. 4). Крім того, застосовуючи схему з РТС можливо уникнути втрат при транспортуванні пари до апарату і з конденсатом, який відводиться (рис. 22 б), таким чином, зменшити питомі енерговитрати з 3,8 МДж/кг до 2,5 МДж/кг а також знизити витрати палива в одному технологічному циклі з 47,5 кг до 31,7 кг.

ВИСНОВКИ

У результаті роботи встановлено наступне:

1. Проведений комплекс аналітичних і експериментальних досліджень підтвердив можливість істотної інтенсифікації процесів тепловіддачі в апаратах з РТС до харчових ННР. Ступінь інтенсифікації збільшується в 2÷20 раз (рис. 7-10).

2. Інтенсифікація процесу тепловіддачі в апараті з РТС зростає із збільшенням частоти, кута нахилу РТС, витрат, в'язкості продукту (рис. 3-6). Так для води (ньютонівської рідини) ступінь інтенсифікації незначний (рис. 8), цукрового розчину різної концентрації (слабоньютонівської рідини) ступінь інтенсифікації збільшується (рис. 9), мастила Т-46 (неньютонівської рідини) ступінь інтенсифікації максимальний (рис. 7). Таким чином визначальний вплив на процес має частота обертів РТС і в'язкість продукту.
3. Критичне число Фруда являє собою функцію частоти обертів, діаметра, кута нахилу РТС (1). За даними комп'ютерного моделювання діапазон ефективної роботи апарата з РТС в залежності від частоти обертів та кута нахилу конденсатора лежить в межах $n=2,7\text{e}9\text{ c}^{-1}$, $g/g_0=5\text{e}90^0$ (рис. 16). Найбільш ефективно апарат з РТС працює з вертикально зорієнтованим конденсатором.
4. Запропонована методика теплового розрахунку враховує вплив лінійного руху продукту (табл. 1) та перемішування (4) на інтенсивність процесів тепловіддачі. Задовільне узгодження експериментальних даних (похибка 12%) з моделлю (2) свідчить, що запропонований механізм коректний (рис. 12).
5. За допомогою розробленої інженерної методики можливо проводити розрахунок процесів тепловіддачі (рис. 17, 18), ступеня інтенсифікації (рис. 19, 20) в апараті з РТС для широкого діапазону харчових ННР з точністю (12%) (рис. 15).
6. За даними комп'ютерного моделювання ступінь інтенсифікації для групи харчових бінгамівських ННР, особливо для томатної пасту, яблучного пюре, складає 2,5-6 (рис. 19, 20). Він значно вищий в порівнянні з іншими харчовими ННР. Таким чином застосування апарата з РТС найбільш ефективно для вказаної групи харчових ННР.
7. За результатами розрахунків застосування апарата на КП ІМурафський консервний заводі, в лінії по виробництву яблучного повидла дає можливість скоротити час процесу обробки продукту в 1,4 рази, а також знизити витрати палива в одному технологічному циклі з 47,5 кг до 31,7 кг і зменшити питомі енерговитрати з 3,8 МДж/кг до 2,5 МДж/кг (табл. 4).

Список опублікованих праць по темі дисертації

- 1 Безбах І.В., Гайда С. Апарат з ротаційним термосифоном для термообробки в'язких продуктів // Наук. праці ОДАХТ.-Одеса.-1999.-вип. 20-с. 234-237.
Проведено аналітичні дослідження теплопередачі в ротаційному термосифоні.
- 2 Безбах І. В., Бурдо О. Г. Термомеханический агрегат для дисперсных продуктов // Наук. праці ОДАХТ.-Одеса.-2001.-вип. 21-с. 112-115.
Автором запропоновано ідею сушарки з тепловим насосом.
- 3 Безбах І. В. Інтенсифікація теплопереносу в апаратах з ротаційним термосифоном // Наук. праці ОДАХТ.-Одеса.-2001.-вип. 22-с. 147-152.
- 4 Безбах І. В., Терзиев С. Г., Бурдо О. Г., Войтенко А. К. Интенсификация термообработки неньютонівских пищевых жидкостей // Наук. праці ОДАХТ.-Одеса.-2002.-вип. 23-с. 244-247.
Приведено розрахункову методику, дані комп'ютерного моделювання.
- 5 Безбах І. В., Войтенко О. К. Термомеханический агрегат для оброблення в'язких харчових продуктів // Наук. праці УДУХТ.-Київ.-2001.-№ 10-с. 120-121.
Приведено нову конструкцію апарата, експериментальні дані.
- 6 Гайда С., Безбах І. В., Войтенко А. К., Кныш А. И. Исследование термомеханических агрегатов с вращающимися термосифонами // Промышленная теплотехника.-2001.-Т. 22.-№ 3.-с. 147-152.
Приведено аналітичні дані по кризі теплопередачі в РТС, розглянуто зовнішню задачу

- тепловіддачі в системі ІРТС-продуктІ.
- 7 Гайда С., Зыков А. В., Безбах И. В. Совершенствование сушильной техники в АПК // Региональные проблемы энергосбережения в децентрализованной теплоэнергетике: Сборник материалов международной научн.-практ. конф. (23-26 октября 2000 г., г. Киев).- К.: Знание, 2000.-с. 14-15.
Автором проведено аналіз внутрішньої задачі кризи теплопередачі в РТС, зовнішньої задачі тепловіддачі в системі ІРТС-продуктІ.
 - 8 Гайда С., Зыков А. В., Безбах И. В. Техничко-экономические аспекты энергосбережения в зерносушении // Process engineering in prevention of environment: Сборник материалов XVII международной научной конференции.-г. Ополе, Польша.-1999.-с. 55-59.
Автором запропоновано застосування ротаційного термосифона для екологічно безпечних схем термообробки.
 - 9 Бурдо О. Г., Зиков О. В., Саламаха В. І., Безбах І. В. Дослідження апаратів для термообробки зерна // Вдосконалення процесів та апаратів хімічних та харчових виробництв ІССЕ-99: Збірник матеріалів Х міжнародної конференції.-ДУ ІЛьвівська політехнікаІ, Львів.-1999.-с. 30-31.
Автором запропоновано застосування ротаційного термосифона для створення сушарок нових конструкцій.
 - 10 Захаров Н. Д., Бурдо О. Г., Безбах И. В. Совершенствование энерготехнологий АПК // ІТЕ Інтегровані технології та енергосбереження: Щоквартальний науково-практичний журнал.-Харків.-2001.-№ 2.-с. 3-6.
Автором розглянуто недоліки існуючих конструкцій термомеханічних агрегатів, виділено відмінні ознаки апарата з ротаційним термосифоном.
 - 11 Безбах І. В., Бурдо О. Г. Термомеханічний агрегат для дисперсних продуктів// Зернові продукти і комбікорми.-2001.-№ 3.-с. 52-55.
Автором визначено параметри сушарки з тепловим насосом.
 - 12 Бурдо О. Г., Терзиев С. Г., Зыков А. В., Безбах И. В. Пути совершенствования сушки в АПК // Современные энергосберегающие тепловые технологии (сушка и термовлажностная обработка материалов).-Т. 4. Секция 3. Сушка зерна. Секция 5. Энерго- и ресурсосбережение при сушке и термовлажностной обработке материалов. М.: МГАУ 2002. с. 153-156.
Автором приведені дані по тепловіддачі до в'язких продуктів.
 - 13 Зыков А. В., Саламаха В. И., Безбах И. В., Айда Амор Развитие техники послеуборочной термообработки зерна // Пути повышения эффективности хранения и переработки сельскохозяйственной продукции: Сборник научных статей.-ОЦНТИ, Одесса.-1999.-с. 51-55.
Автором запропоновано застосування ротаційного термосифона для створення сушарок нових конструкцій.

АННОТАЦИЯ

Безбах И. В. Интенсификация термообработки неньютоновских пищевых жидкостей в аппарате с вращающимся термосифоном. - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.18.12-процессы и оборудование пищевых, микробиологических и фармацевтических производств Одесская национальная академия пищевых технологий, Одесса, 2002.

Диссертация посвящена вопросам создания термомеханических агрегатов на основе вращающихся термосифонов (ВТС), разработке методов их расчета и оптимизации. Рассмотрено термомеханическое оборудование, применяемое в промышленности для обработки пищевых неньютоновских жидкостей (ННЖ), выявлены его недостатки и

слабые элементы. Обоснована необходимость применения термомеханических агрегатов с ВТС для обработки пищевых ННЖ. Проверка работоспособности предложенного схемного решения применительно к пищевым ННЖ, дает положительные результаты. Степень интенсификации теплоотдачи увеличивается с возрастанием вязкости ННЖ, увеличением угла наклона, частоты вращения ВТС. Комплекс аналитических и экспериментальных исследований дал возможность получить и применить расчетную методику аппарата с ВТС для широкого диапазона пищевых ННЖ. Применение компьютерного моделирования дало возможность исследовать процессы теплоотдачи для различных групп пищевых ННЖ, кризис теплопередачи в ВТС, что было невозможным в реальном эксперименте. Определена группа пищевых ННЖ для которой, применение ВТС наиболее эффективно (бингамовские ННЖ).

Исходя из результатов компьютерного моделирования, произведен расчет и анализ эффективности применения аппарата в линии по производству яблочного повидла. Применение аппарата с ВТС дает возможность сократить время процесса обработки продукта в 1,4 раза, а также снизить расход топлива в одном технологическом цикле с 47,5 кг до 31,7 кг и уменьшить удельные энергозатраты с 3,8 МДж/кг до 2,5 МДж/кг.

Ключевые слова: вращающийся термосифон, неньютоновская жидкость, интенсификация теплоотдачи.

АНОТАЦІЯ

Безбах І. В. Інте́нсіфіка́ція термообро́бки ненью́то́нівських харчових рідин в апараті з ротаційним термосифоном.-Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.18.12-процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та фармацевтичних виробництв. - Одеська національна академія харчових технологій, Одеса, 2002.

Дисертація присвячена питанням створення термомеханічних агрегатів на основі ротаційних термосифонів (РТС), розробці методів їх розрахунку та оптимізації. Обґрунтована необхідність застосування термомеханічних агрегатів з РТС для обробки харчових ненью́то́нівських рідин (ННР). Виконані дослідження доводять ефективність застосування апарата з РТС для рідин ненью́то́нівської групи.

Отримана оригінальна розрахункова методика для апаратів з РТС. Проведено комп'ютерне моделювання процесів тепловіддачі в апаратах з РТС. Визначена група харчових ННР для якої застосування РТС максимально ефективно. Виконано розрахунок та аналіз ефективності застосування апарата з РТС в лінії по виробництву яблучного повидла.

Ключові слова: ротаційний термосифон, ненью́то́нівська рідина, інтенсифікація тепловіддачі.

ANNOTATION

Bezbah I. V. Intensification of non-Newton food-liquids heat treatment in the apparatus with rotating thermosyphon. - Manuscript.

Thesis for a candidates degree in the technical sciences by speciality 05.18.12-processes and apparatuses of food, microbiological and pharmacy production.-Odessa national academy of food technologies, Odessa, 2002.

Thesis is dedicated the questions of thermomechanical units design on the base of rotating thermosyphons (RTS), method of their calculation and optimization.

The need of thermomechanical units with RTS using for treatment of food non-Newton liquids (NNL) is motivated. The high efficiency of application of units with RTS is being proved at heat treatment of NNL.

The original engineering technique of account for units with RTS is developed. The computer

modeling of heat emission processes in units with RTS has been fulfilled. The group of food NNL for which using RTS most effectively is determined. The calculation and analysis of efficiency device using in lines of the apple marmalade production has been fulfilled.

Key words: rotating thermosyphons, non-Newton liquids, intensification heat emission.