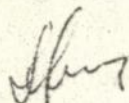


На правах рукопису

ТЕРЗІЄВ Сергій Георгієвич



РОЗРОБКА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧИХ ТА ЕКОЛОГІЧНО ЧИСТИХ
ТЕХНОЛОГІЙ СУШКИ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ НА ОСНОВІ
ТЕПЛОБІМНІКІВ НА ТЕПЛОВИХ ТРУБАХ

Спеціальність: 05.18.12 - процеси, машини та агрегати харчових
виробництва

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття вченого ступеню
кандидата технічних наук

Одеса - 1994



00777763 (.)

Дисертація є рукопис

Робота виконана в Одеському технологічному інституті харчової промисловості ім.М.В.Ломоносова

- Науковий керівник - доктор технічних наук,
професор Бурдо О.Г.
- Офіційні опоненти - академік АНТК України,
заслужений діяч науки
України, доктор технічних
наук, професор Чумак І.Г.
- кандидат технічних наук,
доцент Халайда В.М.
- Ведуча організація - НРО "Консервпромкомплекс"
м.Одеса

Захист дисертації відбудеться "25" 03 1994 р.
о 12³⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради
К 068.35.02 при Одеському технологічному інституті харчової
промисловості ім. М.В.Ломоносова за адресою: 270039, м.Одеса,
вул.Свердлова, 112, ОТІХП.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Одеського
технологічного інституту харчової промисловості ім.М.В.Ломоносова.

Автореферат розіслано "21" 02 1994 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради
д.т.н., професор,
член.кор. АНТКУ

Л.І.Карнаушенко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Виробництво продуктів харчування в Україні характеризується значними витратами енергії та втратами сировини. Так, при сушінні розчинів, сиропів, екстрактів і т.і. у навколишнє середовище викидається відпрацьований теплоносіє з температурою /55 ...200/°С, який містить пил харчового продукту. Щорічно з однієї сушарки втрачаються тисячі ГДж теплоти, тони готового продукту /сухе молоко, кава, цукор, крохмаль і т.і./. Крім значних втрат енергії та продукту, забруднюються виробничі приміщення та навколишнє середовище, погіршується екологічне становище навколо підприємства. Проте, проблемою комплексної утилізації теплоти та продуктів з газових викидів в Україні практично не займалися, утилізаційної апаратури для роботи в середовищі вологого запиленого теплоносія не пропонувалось, тобто дослідження процесів та розробка відповідної апаратури є актуальною проблемою.

Мета роботи. Розробити методику розрахунку, створити технологію та апарат для комплексної утилізації теплоти та вилучення пилу харчового продукту із газових викидів сушарок та пічного устаткування.

Поставлена мета визначила завдання дослідів.

1. Розробити модель утворення шару пилу продукту на поверхні теплообмінників при поперечному обтіканні труб запиленим потоком.
2. Встановити кінетичні закономірності процесу утворення шару пилу продукту на поверхні труб.
3. Обґрунтувати методику розрахунку коефіцієнта тепловіддачі від вологого потоку газу до поверхні труб теплообмінників.
4. Встановити кінетичні закономірності розчинення шару пилу на поверхні труб при парціальній конденсації водяної пари із газового потоку.
5. Розробити інженерну методику розрахунку техніко-економічних показників системи комплексної утилізації теплоти і пилу продукту із газових викидів.

В роботі захищаються такі наукові положення.

1. Процеси утворення на поверхні оребрених труб шару пилу харчового продукту із пилегазового потоку здійснюються під умовою граничної рівноваги масопереносу, тому товщину шару пилу для конкретної технології та певного виду устаткування можна визначити в залежності від терміна експлуатації.

2. Пористу структуру шару пилу харчового продукту на поверхні труб при певних теплових режимах можна використати для капілярної та поверхневої/на межі ТТ- продукт/ конденсації водяної пари, швидкого розчинення та змиву шару пилу конденсатом із поверхні труб.

3. Теплоперенос від відпрацьованого газового потоку, який містить у собі пил харчового продукту, до нагріваємого потоку повітря в утилізаторах з тепловими трубами можна організувати в режимі суміщених процесів тепло та масопереносу при послідовному осіданню пилу на поверхні ТТ, парціальної конденсації водяної пари та розчинення пилу конденсатом. Така технологія самоочищення ТТ від пилу гарантує високі та стабільні теплотехнічні показники утилізатора та забезпечує повернення теплоти та пилу харчового продукту в технологічну лінію.

Наукову новину складають такі результати:

- асимптотична модель процесу утворення шару продукту на поверхні при поперечному обтіканні труби запиленним потоком;
- співвідношення для розрахунку коефіцієнта тепловіддачі від вологого повітряного потоку до поверхні оребрених труб;
- кінетичні закономірності створення шару пилу на поверхні оребреної теплової труби, математичні співвідношення для розрахунку локальної та середньої товщини шару пилу на ТТ;
- кінетичні закономірності розчинення шару пилу кави в процесі парціальної конденсації водяної пари із газового потоку;
- методика розрахунку технічних характеристик апарата із тепловими трубами в умовах суміщеного тепломасопереносу із потоку вологого запиленого газу;
- методика техніко-економічної оптимізації системи комплексної утилізації теплоти та пилу харчового продукту із газових викидів.

Практичне значення роботи складають:

- нова технологія комплексної утилізації теплоти та вилучення пилу продукту із відпрацьованого вологого запиленого газу у режимі самоочищення теплових труб;
- теплоутилізатор з восьмирядним шаховим пучком теплових труб для прес-сушильних автоматів виробництва цукру-рафінаду. Прибуток від впровадження утилізатора складає 23,2 млн.крб. /в цінах середини 1993 р./;
- утилізатор з десятирядним шаховим пучком для розпилюючих

сушарок технології виробництва розчиненої кави. Прибуток від впровадження утилізатора складає 62,5 млн.крб. /в цінах середини 1993 р./.

Апробація роботи. Основні результати дисертаційної роботи доповідались на щорічних науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу та науковців ОТІХП ім.М.В.Ломоносова у 1991-1993 р.р., на III Всесоюзній науковій конференції із проблем енергетики та теплотехнологій /м.Москва, 1991/, на 8 Міжнародній конференції по тепловим трубах /м.Пекін, КНР, 1992/, на II Міжнародній конференції по проблемам екології та ресурсозбереження для агропромислових комплексів /м.Одеса, 1992 р./, на Міжнародній конференції з керування якістю, на Міжнародній науково-технічній конференції "Розробка та впровадження нових технологій і обладнання у харчову та переробну галузі АПК" /м.Київ, 1993/.

Публікації. Основний зміст дисертації викладено в 9 друкарських творах, в тому числі і одній заявці на патент України.

Структура та об'єм роботи. Дисертація складається із вступу, п'яти глав, висновків і додатків, викладена на 126 сторінках машинописного тексту, містить 59 малюнків, 18 таблиць, список використаної літератури із 143 джерел, серед яких 43 роботи закордонних авторів.

ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обгрунтована актуальність роботи, сформульована мета та визначені завдання досліджень.

В першому розділі аналізуються фізичні властивості відпрацьованого сушильного агенту, порівнюються різні способи та засоби утилізації теплоти газового потоку. Показано, що в індустріально розвинених країнах, енергетика яких базується на привізному паливі /США, Японія та ін./, в теплоутилізаційних системах давно надається перевага рекуператорам на теплових трубах і термосифонах. Аналізуються різні способи та засоби очищення газового потоку від пилу. Формується науково-технічна ідея роботи та визначаються завдання досліджень.

В другому розділі проведено аналіз сумішених процесів тепло-масопереносу в утилізаторі на теплових трубах. Визначена специфіка утворення твердих відкладень пилу на поверхні теплопередачі. Пропонується асимптотична модель з границею текучості осі-

лого шару пилу. Сформульовані завдання експериментальних досліджень для визначення коефіцієнту швидкості налипання пилу на гладких трубах.

Для оребрених труб запропонована асимптотична модель з обмеженою рівновагою масопереносу, яка побудована на гіпотезі пропорціональності m коефіцієнту швидкості процесу K , концентрації в потоці частинок продукту C , швидкості набігаючого потоку W , запасу маси осідання на поверхні Δm та терміну експлуатації τ . Причому, Δm визначається як різниця граничної маси осідання m_{∞} та маси осідання пилу m в момент τ :

$$dm = K \cdot C \cdot W \cdot (m_{\infty} - m) \cdot dt, \quad /1/$$

звідки після інтегрування та нескладних спрощень в умовах при граничного шару визначається закон росту товщини шару забруднень:

$$\delta = K_0 \cdot \sqrt{Re} \cdot [1 - \exp(-K \cdot C \cdot W \cdot \tau)] \quad /2/$$

В співвідношенні /2/ число $Re = \frac{R \cdot W}{\nu}$ визначається в'язкістю потоку газу ν та еквівалентним радіусом R оребреної ТТ.

Формула /2/ має одну незалежну змінну τ , один конструктивний розмір R , три параметри потоку C, W, ν і два емпіричних коефіцієнти K_0, K . Для кожного технологічного режиму в умовах конкретного виробництва значення R, C, ν і W є постійними і рівняння /2/ матиме вигляд $\delta = A \cdot (1 - e^{-B\tau})$. Завдання експериментальних досліджень зводяться до визначення констант A і B .

Далі проведено аналіз методів розрахунку теплообміну при конденсації пари з парогазових сумішей. Показано, що основна область досліджень стосується випадків конденсації пари при невеликій частці повітря.

В третьому розділі приведені результати експериментальних досліджень процесів тепло- і масообміну при поперечному обтіканні теплових труб потоком вологого та запиленого газу. Дослідження виконували на лабораторному експериментальному стенді і в умовах виробництва.

Експериментальний стенд складається із замкнутого повітревду, в якому встановлена робоча ділянка з дослідною ТТ; калорифера; парогенератора; системи охолодження та вентилятора. Стенд дозволяє регулювати параметри повітряного потоку в широкому діапазоні: швидкість $W = /2...20/$ м/с, вологовміст $d = /6...40/$

г/кг, температуру $t_r = 20 \dots 100 / ^\circ\text{C}$. Система охолодження конденсатора ТТ /містить у собі терморегулятор, насос і холодильну машину з установки ВДО-0,35/ забезпечує витрати охолоджуючої води /0,001...0,004/ кг/с при температурі $t = 5 \dots 25 / ^\circ\text{C}$. Температуру на поверхні ТТ та в повітряному потоці вимірювали мідь-константановими термопарами в комплекті з автоматизованою системою збору інформації на базі цифрового мікрвольметра Ш-68003, цифродрукарського пристрою Ш-6800К. Відлік часу проводили таймером Ф4842. Витрати охолоджуючої води вимірювали ваговим методом, витрати повітря - за допомогою колектора, відносну вологість потоку до і після ТТ - оригінальним термопарним психрометром. Досліди виконувались на серійно виготовленій ТТ з діаметром ребер $d_p = 43$ мм, товщиною $\delta_p = 0,95$ мм, діаметром основи ребер $d_o = 19$ мм.

Аналіз результатів дослідів показав, що коефіцієнт тепловіддачі сухого потоку зручніше визначити за відомими відношеннями А.А.Жукаускаса, а для розрахунку коефіцієнту тепловіддачі від потоку вологого газу рекомендується залежність:

$$\frac{d_{\text{exp}}}{d_{\text{th}}} = 1 + \frac{1,11 \tau \cdot \varepsilon [P_r \cdot P_s(t_r) - P_s(t_o)] + [P_s(t_r) - P_s(t_o)]}{R_o \cdot T_r \cdot \rho_r \cdot C_{pr} \cdot [1 + \varepsilon(\varepsilon - 1)] \cdot (t_r - t_o)} \quad /3/$$

Другий додаток у співвідношенні /3/ є поправка на вологий теплообмін і показує зростання d_{exp} відносно "сухого", чисто конвективного теплообміну d_{th} . Тому в чисельнику цієї поправки стоять величини, які характеризують теплоперенос при парціальній конденсації водяної пари /скрита теплота пароутворення Γ , та різниця парціального тиску пари, яка відповідає температурам потоку t_r , ребра t_p та основи ТТ t_o /. У знаменнику поправки знаходиться різниця ентальпій повітря, яка характеризує "сухий" теплообмін. Безрозмірність поправки досягається шляхом ділення на $R_o \cdot T_r \cdot \rho_r$. В ідеально-газовому наближенні цей добуток представляє собою тиск повітря у мікротрубному просторі.

Співвідношення /3/ у діапазонах $2 < W < 20$ / м/с, $20 < d < 50$ / г/кг для ТТ із спіралью-винтовим оребренням описує експериментальні дані з похибкою не більше 15%.

Виробничі дослідження кінетики осідання кавового пилу на ТТ проводились на ОКЖ. Методика дослідів складалась із таких етапів: наливання ТТ у пиленітряному потоці; зважування ТТ; побудова епюр осідання пилу в залежності від кутової координати φ ; часу T ; вимірювання за допомогою планиметра КИ-3 площі

проекції напиленої ТТ на ребрах та в мікрореберному просторі; розрахунок середньої товщини шару пилу $\bar{\delta}_c(\varphi, \tau)$ в різних вісєвих перетинах ТТ; розрахунок середньої товщини шару $\bar{\delta}$ на ТТ.

Епюри відкладень пилу одержані з допомогою проектора РНУІАТЕХ методом послідовних поворотів ТТ навколо вісі на 45° . В чотирьох перетинах ТТ одержано 8 пілоподібних проєкцій розподілу пилу. Разгалі одержано 35 епюр, аналіз яких і візуальне обстеження поверхні ТТ показали, що шар пилу має різну товщину по периметру ТТ. Дослідження вісєвих епюр шару дозволили визначити форму поперечних перетинів запиленої ТТ.

Результати дослідів та їх обробка приведені в табл. I та на мал. I.

Таблиця I.

Результати експериментальних досліджень

τ , доба	0,3	1,0	3,0	5,0	9,5	14	16,7
$\bar{\delta}$, мм	0,03	0,11	0,2	0,37	0,5	0,57	0,5
m , г	1,5	2,7	11,6	16	22	24	27

Одержано просторово-часові розподіли маси m /кг/, середньої $\bar{\delta}$ /м/ та локальної $\bar{\delta}_c$ /м/ товщини шару кавового пилу на ТТ.

$$m(\tau) = 23,4 \cdot 10^{-3} \cdot [1 - \exp(-75 \cdot 10^{-4} \tau)] \quad /4/$$

$$\bar{\delta}(\tau) = 0,63 \cdot 10^{-2} \cdot [1 - \exp(-75 \cdot 10^{-4} \tau)] \quad /5/$$

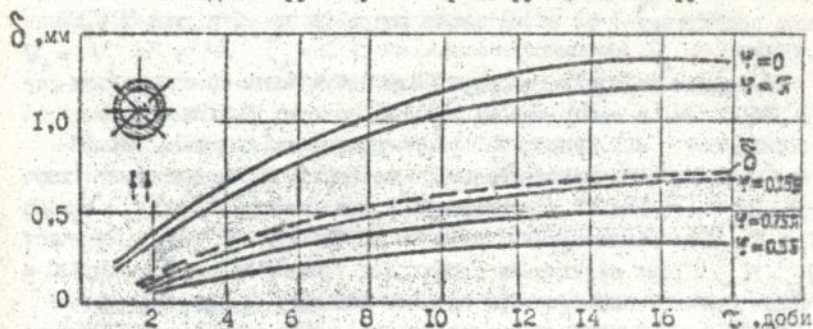
$$\bar{\delta}_c(\varphi, \tau) = (1,4 - \frac{4}{5} \varphi + \frac{3,9}{5} \varphi^2) \cdot [1 - \exp(-75 \cdot 10^{-4} \tau)] \quad /6/$$

Процес розчинення та змивання з поверхні ТТ кавового пилу визначали побічним методом за зміною термічного опору R_r від газового потоку до ТТ. Величина R_r містила в собі термічні опори шару пилу R_3 та конвективної тепловіддачі. Кінетика процесу розчинення пилу встановлювалась по зниженню R_3 і, як наслідок, значенню R_r . Якісно процес спостерігали візуально.

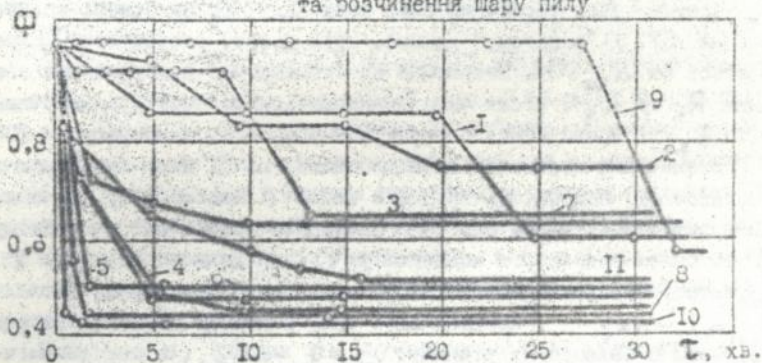
Досліди показали, що із збільшенням часу R_r досягають мінімального і постійного значення /мал.2/, яке характерне для тепловіддачі "чистої" ТТ. Це свідчить про повне розчинення та виведення кавового пилу з поверхні ТТ. При $d > 25$ г/кг розчинення проходить миттєво /мал.3/.

В четвертому розділі приведена інженерна методика розрахун-

Розподіл шару пилу по периметру теплової труби

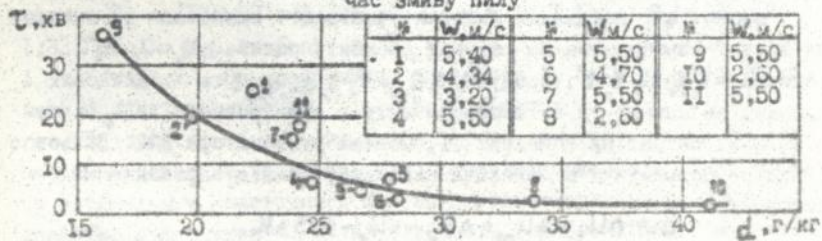


Мал. 1

Зміна R_p у процесі парціальної конденсації пари та розчинення шару пилу

Мал. 2

Вплив швидкості та вологовміста потоку на час змиву пилу



Мал. 3

ку техніко-економічних параметрів систем утилізації теплоти, розчинника та продукту із газових викидів. Розглянено головні етапи проектування та оптимізації апаратів із ТТ в умовах ОЦРЗ та ОКХК.

Алгоритми та програма розрахунку побудовані за принципами, які розроблені в лабораторіях М.К.Безродного, Л.Д.Васильєва, Г.З.Смирнова і О.Г.Бурдо, та новими уявленнями про тепломасообмінні властивості пилепарогазового потоку і ТТ, які одержані автором. За вхідні дані для розрахунку прийняли $t'_r, t'_s, V_r, V_s, X_r, C_r$, та компоновочні варіанти TOTТ: $S_1, S_2, L_1, L_2, N_{TT}, n_{TT}$. Після визначення необхідних геометричних параметрів і теплофізичних властивостей потоків виконували рядковий розрахунок апарату. Процедура визначення поля температур в TOTТ передбачає два режими: "сухий" та "вологий". Режим визначається порівнянням температури поверхні ТТ з температурою точки роси t_m гарячого потоку для данного ряду ТТ. В сухому режимі при визначенні R_r враховується термічний опір шару пилу R_s на основі співвідношення [5]. У "вологодому" режимі, крім цього, розрахунок R_r проводиться по $d_{ep}/3$. Звернення до стандартної програми дає значення R_s та R_k , після чого визначається температура насичення в ТТ $t_{s,i}$ і проводиться перерахунок розподілу температур в TOTТ.

Визначення кількості зконденсованої на ТТ пари проводили за гіпотезою про подібність процесів тепло- і масообміну. По значенню дифузійних чисел Nu і Pr знаходили коефіцієнт масообміну β та об'єм одержаного конденсату V_k для данного ряду ТТ. В результаті визначали вологість потоку після i -го ряду ТТ:

$X_{i+1} = X_i - \Delta X_i$. Концентрацію пилу в потоці після i -го ряду визначали з балансових рівнянь: $C_{s,i+1} = C_{s,i} - \Delta C_{s,i}$, а аеродинамічний опір - за рекомендаціями А.А.Дукаускаса. В результаті визначали теплотехнічні характеристики TOTТ: Q, K, η .

Приведена методика є універсальною для оцінки технічних параметрів калорифера із ТТ та утилізатора.

Економічні показники системи утилізації визначали як зниження витрат виробництва за рахунок економії палива $\Delta U_f = Q_f \cdot z_f \cdot \tau$; води $\Delta U_w = V_r \cdot \rho_w \cdot \Delta X_r \cdot z_w \cdot \tau$; продукту $\Delta U_{np} = V_r \cdot \rho_c \cdot \Delta C_r \cdot z_{np} \cdot \tau$ та додаткових витрат, зв'язаних із збільшенням витрат електроенергії ΔU_e та капітальних витрат на комплект ТТ, монтаж утилізатора ΔK . Цільовою функцією розрахунку є максимальний прибуток від впровадження системи:

$$E = \Delta U_f + \Delta U_w + \Delta U_{np} - \Delta U_e - 0,15 \Delta K$$

На основі таких оптимізаційних розрахунків визначена компоновка УТС для прессушильних автоматів ОЦРЗ. При $t_r' = 70^\circ\text{C}$, $V_r = V_x = 8 \text{ м}^3/\text{с}$, $t_x' = 25^\circ\text{C}$ максимальне значення E забезпечував восьмирядний шахівий пучок ТС при $N_{\text{ТТ}} = 200$ шт, $S_1 = S_2 = 0,048 \text{ м}$. Аеродинамічний опір складав $60 \dots 80 \text{ Па}$, $K = /110 \dots 130/ \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$.

Деякі результати розрахунку полів температур, тиску, вологості та запиленості потоку для умов ОКПІІ приведені на мал.5, а оцінка E для різних режимів і компоновок - на мал.4. Для виготовлення прийнято десятирядний апарат з $N_{\text{ТТ}} = 200$ шт, при $S_2 = 0,051 \text{ м}$, $S_1 = 0,048 \text{ м}$.

В п'ятому розділі приведені результати виробничих випробувань УТС на ОЦРЗ та ОККК. Порівняння зміни температур в апараті за розрахунками з даними дослідів /мал.6а/ свідчить, що похибка оцінки технічних параметрів по розробленій програмі знаходиться в межах 12%. Стендові випробування УТС в широкому діапазоні t_r дають можливість оцінити ступінь нагрівання повітря в УТС /мал.6б/.

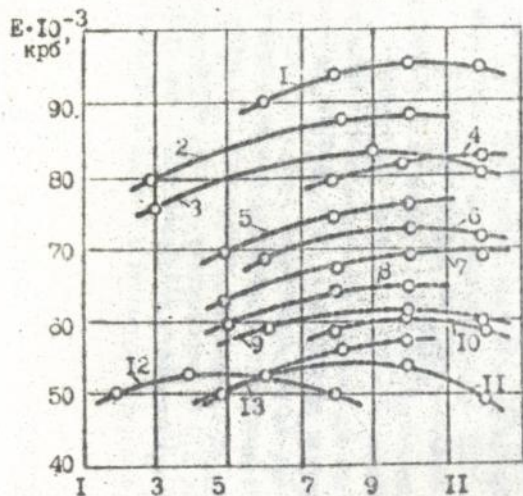
Коректність розрахунку підтверджується результатами експериментальних дослідів в умовах ОККК /мал.7/. Аналіз залежності зникнення Q_u за рахунок запилення ТС в "сухому" режимі експлуатації дозволяє рекомендувати періодичність очищення апарату від 24 до 72 годин. Для очищення передбачена система зрошення ТС гарячою водою, а також система штучного зволоження гарячого потоку шляхом сприскування насиченої пари, а саме переходу УТС в "вологий" режим роботи. Як свідчать досліді /мал.2/, час такого очищення 10...15 хвилин.

В зв'язку з ростом цін на енергоносії та комплектуючі проведено аналіз ефективності УТС, установленого на ОЦРЗ, в різні періоди 1991...1993 рр.

В розрахунках прийняті відповідні цим періодам ціни: в 1991 р., з 1.06.1992 р., з 1.01.1993 р., з 1.06.1993 р. відповідно: $Z_{\text{ТТ}} = /12; 137; 3883; 36640/ \text{ крб за 1 Гкал}$; $Z_e = /0,02; 1,32; 5; 40/ \text{ крб за 1 кВт}\cdot\text{г}$; $Z_{\text{ТТ}} = /25; 300; 2000; 30000/ \text{ крб за 1 шт. /табл.2/}$. При розрахунку варіантів 3, 5, 7 вартість 1 кг кави прийнята відповідно /1; 4,5; 23 / тис.крб.

Відсутність будь-яких прогнозів на динаміку цін на енергоносії та метал не дозволяє дати визначені рекомендації по вибору оптимальних конструкцій УТС на перспективу. Проте, можна впевнено стверджувати, що ефективність теплоутилізації має стати тенденцією до підвищення, а термін окупності УТС буде знижуватись.

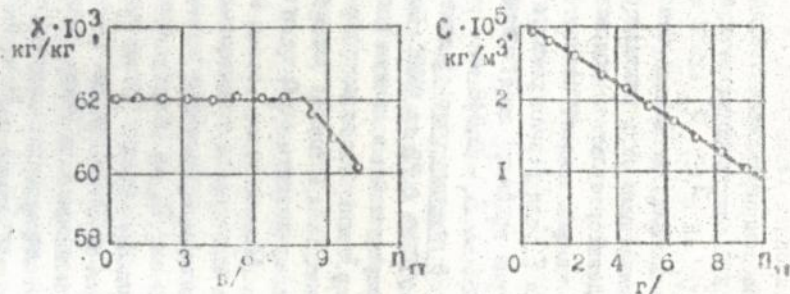
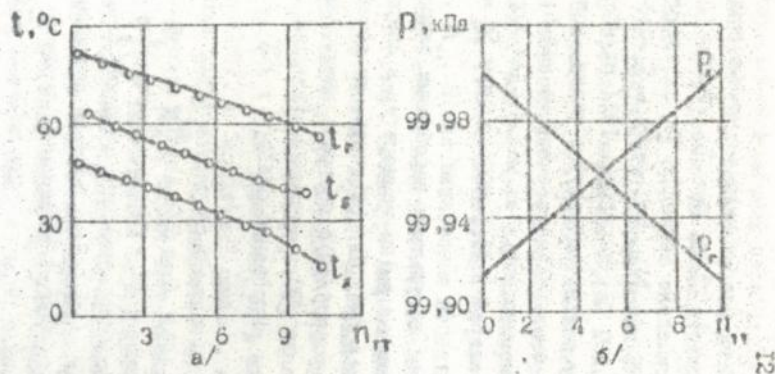
Результати варіантних розрахунків



Мал. 4

№	$t_r, ^\circ\text{C}$	$t_s, ^\circ\text{C}$	N_{rr}	№	$t_r, ^\circ\text{C}$	$t_s, ^\circ\text{C}$	N_{rr}
1	100	5	240	8	100	25	200
2	100	5	200	9	100	25	180
3	100	5	180	10	80	15	240
4	100	15	240	11	80	15	200
5	100	15	200	12	100	25	120
6	100	15	180	13	80	15	180
7	100	25	240				

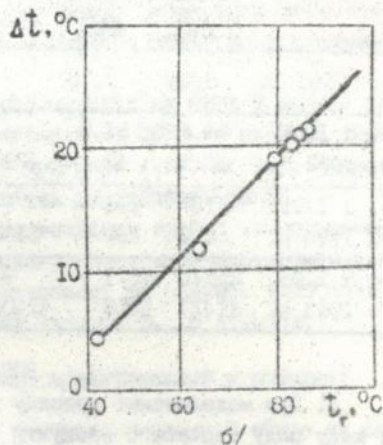
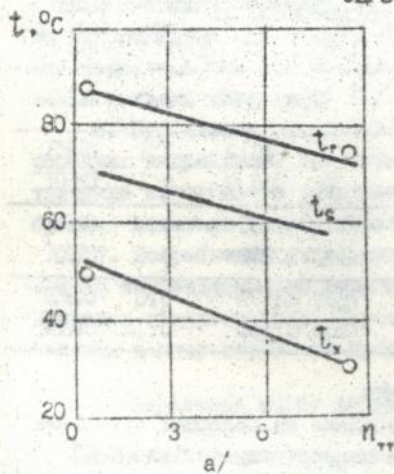
Розрахунок полів температур /а/, тисків /б/, вологості /в/ та концентрації льду /г/.



Мал. 5

Виробничі випробування утилізатора на

ОЦРЗ

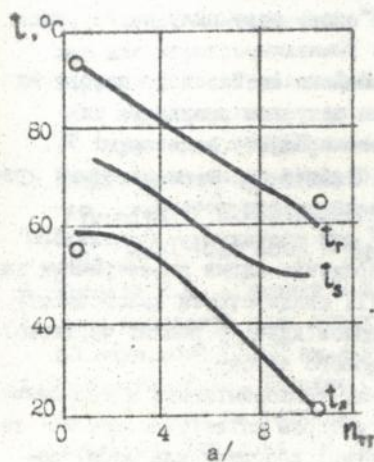


Мал.6

○ - експеримент

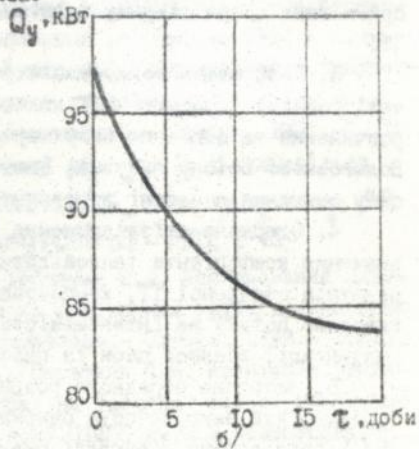
Експлуатаційні характеристики утилізатора на

ОЦКК



Мал.7

○ - експеримент



Таблиця 2

Економічні показники системи утилізації

№ пп	Час	Вартість, тис.коб.					Окупність, років	Місце експлуатації
		ΔU_t	ΔU_c	$\Delta U_{об}$	ΔK	E		
1.	1991 р.	8,44	0,78	-	6	6,75	1,0	ОЦЗ
2.	з 1.06.	96,6	51,8	-	72	33,9	2,1	ОЦЗ
3.	1992 р.	80,7	48	1790	72	166,0	0,1	ОКХК
4.	з 1.01.	2737	196	-	600	2451	0,25	ОЦЗ
5.	1993 р.	2272	132	8100	600	10250	0,1	ОКХК
6.	з 1.06.	25828	1571	-	7200	23175	0,3	ОЦЗ
7.	1993 р.	21431	1456	41400	7200	61160	0,12	ОКХК

ВИСНОВКИ

1. При моделюванні процесу утворення на поверхні оребрених ТТ шару пилу харчового продукту при поперечному обтіканні ТТ запиленним газовим потоком справедлива гіпотеза про існування граничної маси осідання. Границя рівноваги має зпереносу визначає асимптотичний характер моделі /2/.

2. Нерівномірність запилення поверхні ТТ пилом кави враховується співвідношенням /6/, яке визначає поле локальних товщин шару пилу. Рівняння для середнього значення товщини шару пилу /5/ призначене до розрахунку термічного опору шару пилу на поверхні ТТ.

3. Парціальна конденсація розчинника із газового потоку на межі розділу "продукт-ТТ" являється потужним знаряддям для розчинення та змивання пилу харчового продукту з поверхні ТТ. Вологовміст потоку газу має значно більший вплив на кінетику процесу очищення поверхні порівняно із швидкістю потоку.

4. Одержане співвідношення /3/ для розрахунку ефективного значення коефіцієнта тепловіддачі враховує вплив геометричних параметрів оребреної ТТ, компоновки ТТ, швидкості та вологовмісту газового потоку на інтенсивність тепловіддачі у режимі часткової конденсації водної пари із парогазового потоку.

5. Методика порядного розрахунку теплообмінника з тепловими трубами, яка використовує одержані автором співвідношення /3/ та /5/ і реалізована у вигляді стандартної програми для ПЕОМ, до-

зволяє встановити поля температур, тиску, вологовміст та концентрації пилу парогазового потоку в утилізаторі, визначити коефіцієнт теплопередачі та теплову потужність апарата. Наступне використання цих параметрів у методиці розрахунку економічних характеристик дає можливість визначити прибуток від впровадження системи утилізації /7/.

6. Порівняння результатів розрахунків на ПАОМ з даними виробничих випробувань теплоутилізаторів на ОЦРЗ та на ОКХК підтвердило коректність розробленої програми /мал.6а, 7а/. Випробування показали високу ефективність утилізатора на ТТ.

7. Розроблений утилізатор на теплових трубах запропонований до впровадження на харчоконцентратних, молочноконсервних та цукрових підприємствах. Період окупності за рахунок утилізації теплоти і пилу харчового продукту складає 3...6 місяців.

Загальний зміст дисертації опублікований у роботах:

1. Интенсивное энергосбережение в агропромышленной сфере на базе тепловых труб и термосифонов /О.Г.Бурдо, В.А.Соломыкин, С.Г.Терзиев, Мяо Юнсян.// Тез.докл. III Всесоюз.науч.конф. "Интенсивное энергосбережение теплотехнологии".- /17-19 сентября 1991 г./ -М. 1991.- С.65.
2. Бурдо О.Г., Терзиев С.Г., Перетяка С.Н. Утилизация низкопотенциальной теплоты на предприятиях агропромышленной сферы// Тез. докл. 2 мекд.конф. "Проблема экологии и ресурсосбережения для агропромышленных комплексов".- Одесса, 1992.- С. 82
3. Терзиев С.Г., Гамоліч В.Я., Бурдо О.Г. Моделирование теплоотдачи зпыленного потока на лучке тепловых труб.// Тез.докл. 52 науч. конф. ОТИПП им.М.В.Ломоносова.- Одесса, 1992.-С.180.
4. Heat recovery apparatus on heat pipe for food industries. /Burdo O.G., Viskalova J.M., Terziev S.G., Miao Yongxianq. // 8 Int. Heat Pipe Conf. - Beijing (China). - 1992. E-75.
5. Терзиев С.Г., Гамоліч В.Я., Терзєман Е.Ф. Исследование кинетики налипания пыли продукта на оребренных трубах.//Тез.докл. 53 науч.конф.ОТИПП им.М.В.Ломоносова.- Одесса, 1993.- С.220.
6. Соломыкин В.А., Терзиев С.Г., Перетяка С.Н. Испытание утилизатора тепла на тепловых трубах на Одесском сахарорфинадном заводе.// Тез.докл. 53 науч.конф.ОТИПП им.М.В.Ломоносова.- /20-23 апреля/ - Одесса, 1993.- С.222.

ЛНБ ім. В. Стефаника
АН України

7. Доманский Р.А., Терзиев С.Г., Перетяка С.Н. Теплообмен влажного воздуха с оребренной поверхностью тепловой трубы. // Тез. докл. 53 науч. конф. ОТИП им. М.В. Ломоносова. - /20-23 апреля/ - Одесса, 1993. - С.219.
8. Техніко-економічна оптимізація утилізаторів для обладнання харчових виробництв /С.Г.Терзієв, С.М.Перетяка, В.Я.Гамоліч, О.Г.Бурдо //Тез. доп. Міжн.наук.-техн.конф. "Розробка та впровадження нових технологій і обладнання у харчову та переробні галузі АПК. Київ, 1993. - С.625-626.
9. Заява на патент України МІ1384. Засіб утилізації тепла, розчинника та пилу продукту при сушінні харчових рідин. //О.Г.Бурдо, С.Г.Терзієв, С.М.Перетяка т.і. Приоритет від 16.03.1993.

УМОВНІ ВИЗНАЧЕННЯ

α - коефіцієнт тепловіддачі; δ - товщина; ε - коефіцієнт оребрення; η - ККД; ν - коефіцієнт в'язкості; ρ - густина; τ - час; φ - відносна вологість; C - концентрація пилу в потоці; d - вологовміст; K - коефіцієнт теплопередачі; L - довжина; N_{TT} - кількість ТТ; n_{TT} - кількість рядів ТТ; P - тиск; Q - тепловий потік; R_g - універсальна газова стала; R - термічний опір; S - крок між ТТ; T, t - температура; V - об'ємні витрати; W - швидкість; X - вологовміст; Z - вартість; E - прибуток; U - витрати виробництва.

Індекси: S - насичення; B - випаровувач; g - гарячий; e - електроенергія; z - забруднення; k - конденсат; o - основа; pr - продукт; r - ребро; t - теплоносій; y - утилізуємий; x - холодний.

Скорочення: ТТ - тепла труба; ТС - термосифон; ОЦРЗ - Одеський цукро-рафінадний завод; ОКЖ - Одеський комбінат харчових концентратів; ТОТТ - теплообмінник на теплових трубах; УТС - утилізатор на термосифонах.