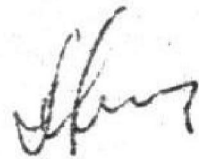


Т 35

ОДЕСЬКИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ
і.м.М.В.ЛОМОНОСОВА

На правах рукопису

ТЕРЗІЄВ Сергій Георгієвич



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

Спеціальність: 05.18.12 - процеси, машини та агрегати харчових
виробництв

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття вченого ступеня
кандидата технічних наук

Одеса - 1994

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 Халайди В.М.
- Ведуча організація - НВО "Консерпроткомплекс"
м.Одеса

Захист дисертації відбудеться "25" листопада 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.

опробовано 1994 р.

наушченко

ОНАХТ 18.05.12
Розробка ресурсобітр



v018067

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 займались, утилізаційної апаратури для роботи в середовищі вологого запиленого теплоносія не пропонувалось, тобто дослідження процесів та розробка відповідної апаратури є актуальною проблемою.

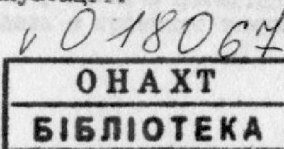
Мета роботи. Розробити методику розрахунку, створити технологію та апарат для комплексної утилізації теплоти та виділення пилу харчового продукту із газових викидів сушарок та пічного устаткування.

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 парціалній 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 нагріваемого потоку повітря в утилізаторах з тепловими трубами можна організувати в режимі сумішених 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 запиленім 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-сушільних 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 теплотехнології /м.Москва, 1991/, на 8 Міжнародній конференції по тепловим трубам /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.

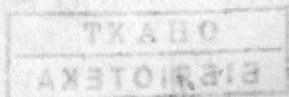
Структура та об'єм роботи. Дисертація складається із аступу, п'яти глав, висновків і додатків, викладена на 126 сторінках машинописного тексту, містить 59 малюнків, 18 таблиць, список використаної літератури із 143 джерел, серед яких 43 роботи закордонних авторів.

ЗМІСТ РОБОТИ

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

В першому розділі аналізуються фізичні властивості відпрацьованого сушільного агенту, порівнюються різні способи та засоби утилізації теплоти газового потоку. Показано, що в індустріально розвинених країнах, енергетика яких базується на приватному 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. Формулюється 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 пропорційності 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 :

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

звідки після інтегрування та нескладних спрощень в умовах півграничного 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 повітрово-ду, 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 $t_p = /20...100/^\circ\text{C}$. Система охолодження конденсатора ТТ /містить у собі терморегулятор, насос і холодильну машину з установки ВД0-0,35/ забезпечує витрати охолоджуючої води $/0,001...0,004/$ кг/с при температурі $t_c = /5...25/^\circ\text{C}$. Температуру на поверхні ТТ та в повітряному потоці вимірювали мідь-константановими термопарами в комплекті з автоматизованою системою збору інформації на базі цифрового мікрівольметра 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 $\delta_p = 0,85$ мм, діаметром основи ребер $d_o = 19$ мм.

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

$$\frac{d_{exp}}{d_{KB}} = 1 + \frac{0,11 \tau \cdot \epsilon [P_r \cdot P_s(t_p) - P_s(t_o)] + [P_s(t_p) - P_s(t_o)]}{R_o \cdot T_o \cdot \rho_o \cdot C_{p,o} [1 + E(\epsilon - 1)] \cdot (t_p - t_o)} \quad /3/$$

Другий доданок у співвідношенні /3/ є поправка на вологий теплообмін і показує зростання d_{exp} відносно "сухого", чисто конвективного теплообміну d_{KB} . 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_p , ребра t_r та основи ТТ t_o /. У знаменнику поправки знаходиться різниця ентальпії повітря, яка характеризує "сухий" теплообмін. Безрозмірність поправки досягається шляхом ділення на $R_o \cdot T_o \cdot \rho_o$. В ідеально-газовому наближенні цей добуток представляє собою тиск повітря у мікструбному 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 ОКХ. Методика дослідів складалась із таких етапів: напилювання ТТ у пилеповітряному потоці; зважування ТТ; побудова епюр осідання пилу в залежності від кутової координати φ ; часу τ ; вимірювання за допомогою планиметра КИ-3 площі

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

Епори відкладень пилу одержані з допомогою проектора РНУІАТЕХ методом послідовних поворотів ТТ навколо вісі на 45° . В чотирьох перетинах ТТ одержано 8 пілоподібних проекцій розподілу пилу. Разгалі одержано 35 епор, аналіз яких і візуальне обстеження поверхні ТТ показали, що шар пилу має різну товщину по периметру ТТ. Дослідження вісєвих епор 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	0,6
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 $\bar{\delta}_s$ /м/ товщини шару кавового пилу на ТТ.

$$m(\tau) = 28,4 \cdot 10^{-3} [1 - \exp(-75 \cdot 10^{-4} \tau)] \quad /4/$$

$$\bar{\delta}(\tau) = 0,63 \cdot 10^{-3} [1 - \exp(-75 \cdot 10^{-4} \tau)] \quad /5/$$

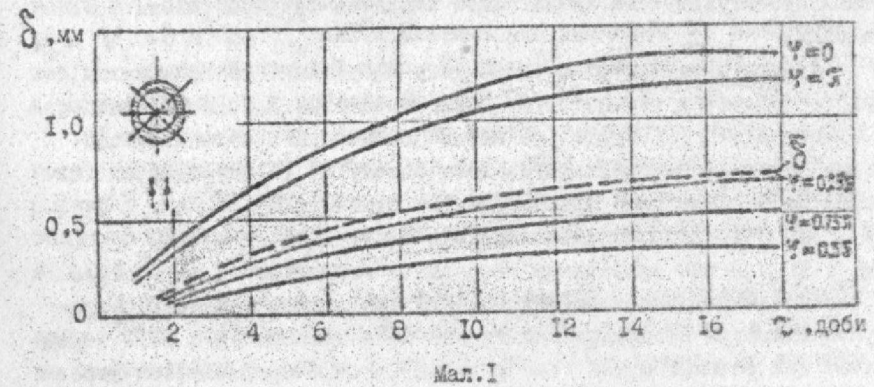
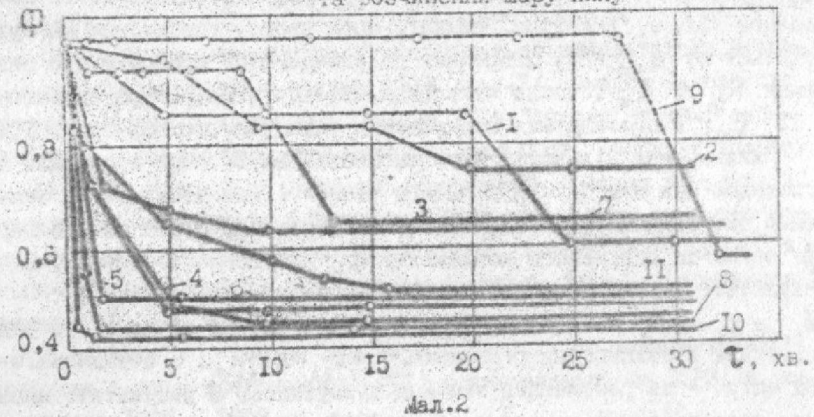
$$\bar{\delta}_s(\varphi, \tau) = (1,4 - \frac{4}{3}\varphi + \frac{3}{5}\varphi^2) [1 - \exp(-75 \cdot 10^{-4} \tau)] \quad /6/$$

Процес розчинення та змивання з поверхні ТТ кавового пилу визначали побічним методом за зміною термічного опору R_T від газового потоку до ТТ. Величина R_T містила в собі термічні опори шару пилу R_2 та конвективної тепловіддачі. Кінетика процесу розчинення пилу встановлювалась по зниженню R_2 і, як наслідок, значенню R_T . Якісно процес спостерігали візуально.

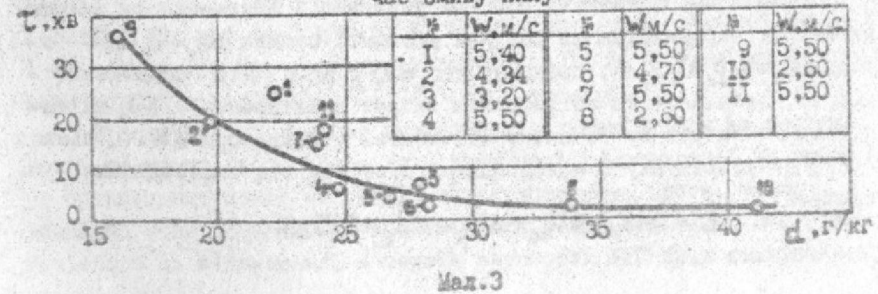
Досліди показали, що із збільшенням часу R_T досягають мінімального і постійного значення /мал.2/, яке характерне для тепловіддачі "чистої" ТТ. Це свідчить про повне розчинення та зведення кавового пилу з поверхні ТТ. При $d > 25$ г/кг розчинення проходить миттєво /мал.3/.

В четвертому розділі приведена інженерна методика розрахунку

Розподіл шару пилу по периметру теплової труби

Зміна R_T у процесі парціальної конденсації пари та розчинення шару пилу

Вплив швидкості та вологовміста потоку на час змиву пилу



ку техніко-економічних параметрів систем утилізації теплоти, розчинника та продукту із газових виходів. 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.Л.Васильєва, Г.З.Смирнова і О.Р.Бурдо, та новими уявленнями про тепломасообмінні властивості пиленарогазового потоку і ТТ, які одержані автором. За вхідні дані для розрахунку прийняли $t_r, t_x, V_r, V_x, X_r, C_r$, та компоновочні варіанти ТОТТ: $S_1, S_2, L_1, L_2, N_{TT}, n_{TT}$. Після визначення необхідних геометричних параметрів і теплових властивостей потоків виконували рядковий розрахунок апарату. Процедура визначення поля температур в ТОТТ передбачає два режими: "сухий" та "вологий". Режим визначається порівнянням температури поверхні ТТ з температурою точки роси t_m гарячого потоку для даного ряду ТТ. В сухому режимі при визначенні R_r враховується термічний опір шару пилу R_3 на основі співвідношення $R_3 = \alpha_{\text{доп}} / \beta$. В "вологодному" режимі, крім цього, розрахунок R_r проводиться по $\alpha_{\text{доп}} / \beta$. Звернення до стандартної програми дає значення R_b та R_k , після чого визначається температура насичення в ТТ $t_{s,i}$ і проводиться перерахунок розподілу температур в ТОТТ.

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 даного 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: $C_{s,i+1} = C_{s,i} - \Delta C_{s,i+1}$, а аеродинамічний опір - за рекомендаціями А.А.Жукаускаса. В результаті визначали теплотехнічні характеристики ТОТТ: 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 $\Delta U_p = Q_p \cdot z_p \cdot T$; води $\Delta U_w = V_w \cdot \rho_w \cdot \Delta X_w \cdot z_w \cdot T$; продукту $\Delta U_{np} = V_p \cdot \rho_p \cdot \Delta C_p \cdot z_p \cdot T$ 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:

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

/7/

На основі таких оптимізаційних розрахунків визначена компоновка УТС для пресушувальних 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 шаховий пучок ІС при $N_{TT} = 200$ шт, $S_1 = S_2 = 0,048 \text{ м}$. Аеродинамічний опір складав $60 \dots 80 \text{ Па}$, $K = 110 \dots 130 / \text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{К}$.

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

В п'ятому розділі приведені результати виробничих випробувань УТС на ОЦРЗ та ОКХК. 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 ОКХК /мал.7/. Аналіз залежності зниження Q_y за рахунок запилення ІС в "сухому" режимі експлуатації дозволяє рекомендувати періодичність очищення апарату від 24 до 72 годин. Для очищення передбачена система зрошення ІС гарячою водою, а також система штучного зволоження гарячого потоку шляхом сприскування насиченої пари, а саме переходу УТС в "вологий" режим роботи. Як свідчать досліди /мал.2/, час такого очищення 10...15 хвилин.

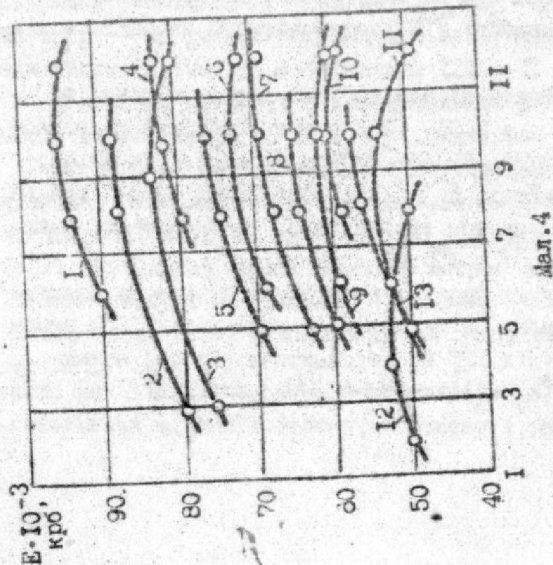
В зв'язку з ростом цін на енергоносії та комплектуючі проведено аналіз ефективності УТС, встановленого на ОЦРЗ, в різні періоди 1991...1993 рр.

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: $Z_p = /12; 137; 3383; 36640/ \text{крб за } 1 \text{ Гкал}$; $Z_w = /0,02; 1,32; 5; 40/ \text{крб за } 1 \text{ кВт}\cdot\text{г}$; $Z_{np} = /25; 300; 2000; 30000/ \text{крб за } 1 \text{ шт. /табл.2/}$. При розрахунку варіантів 3, 5, 7 вартість 1 кг капи прийнята відповідно $/1; 4,5; 23 / \text{тис.крб}$.

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 сталу тенденцію до підвищення, а термін окупності УТС буде знижуватись.

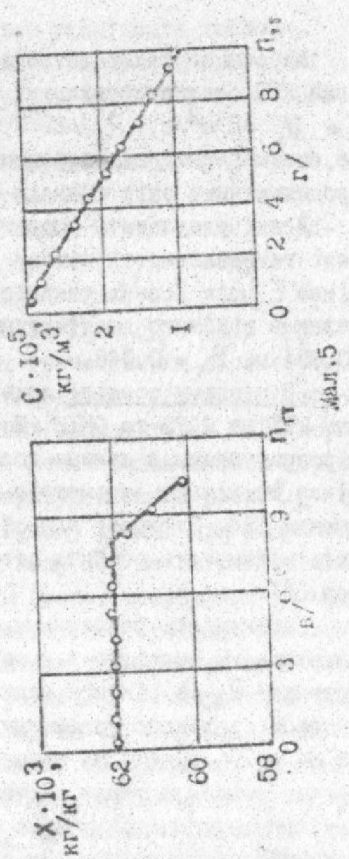
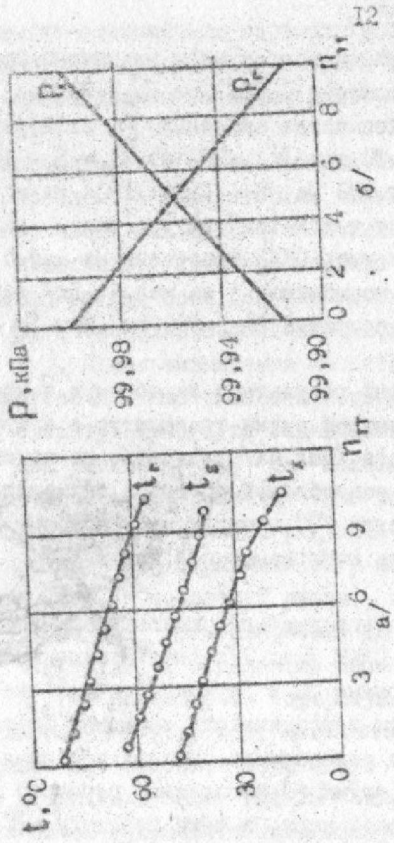
Розрахунок подів температур /в./, тисків /б./, вологості /в./ та концентрації пилу /г/

Результати веріантних розрахунків



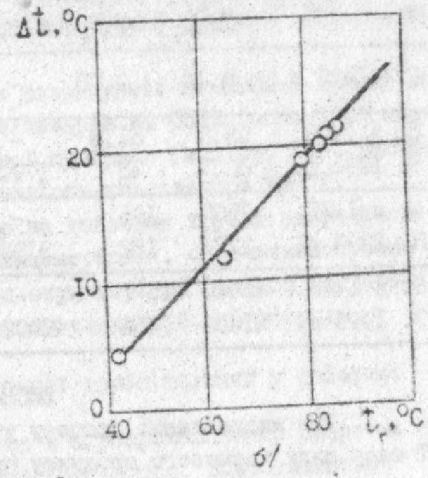
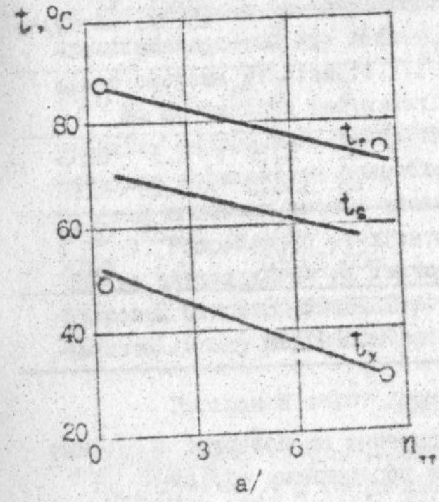
Мал.4

№	$t_r, ^\circ\text{C}$	$t_c, ^\circ\text{C}$	$N_{\text{П}}$	№	$t_r, ^\circ\text{C}$	$t_c, ^\circ\text{C}$	$N_{\text{П}}$
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				



Мал.5

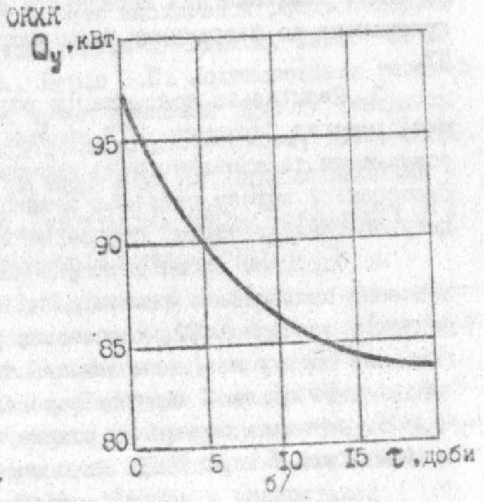
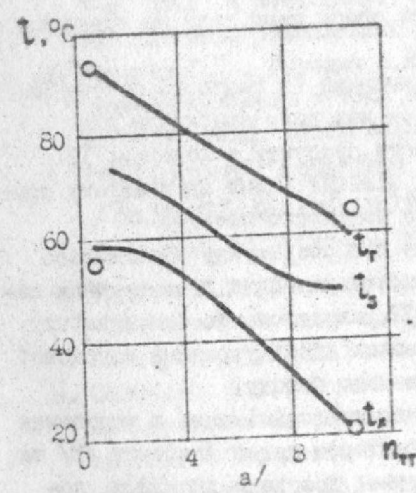
Виробничі випробування утилізатора на ОЦРЗ



Мал.6

○ - експеримент

Експлуатаційні характеристики утилізатора на ОКХК



Мал.7

○ - експеримент

Таблиця 2

Економічні показники системи утилізації

№ пп	Час	Вартість, тис.крб.					Окуп- ність, років	Місце експлуа- тації
		ΔU_1	ΔU_2	$\Delta U_{пр}$	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	182	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 на 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 водяної 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 ПЕОМ з даними виробничих випробувань теплоутилізаторів на ОЦЗ 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, Мiao Yuxian.// 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 между.конф. "Проблемы экологии и ресурсосбережения для агропромышленных комплексов".- Одесса, 1992.- С. 82
3. Терзиев С.Г., Гамалич В.Я., Бурдо О.Г. Моделирование теплоотдачи запыленного потока на пучке тепловых труб.// Тез.докл. 52 науч. конф. ОТИПП им.А.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 Yongxiang. // 8 Int. Heat Pipe Conf. - Beijing (China). - 1992. E-75.
5. Терзиев С.Г., Гамалич В.Я., Терзиев Е.Ф. Исследование кинетики налипания пыли продукта на оребренных трубах.//Тез.докл. 53 науч.конф.ОТИПП им.А.В.Ломоносова.- Одесса, 1993.- С.220.
6. Соломыкин В.А., Терзиев С.Г., Перетяка С.Н. Испытание утилизатора тепла на тепловых трубах на Одесском сахарорафинадном заводе.// Тез.докл. 53 науч.конф.ОТИПП им.А.В.Ломоносова.- /20-23 апреля/ - Одесса, 1993.- С.222.

7. Доманский Р.А., Терзиев С.Г., Перетяка С.Н. Теплообмен влажного воздуха с оребренной поверхностью тепловой трубы. // Тез. докл. 53 науч. конф. ОТИШ 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. Заявка на патент України №11384. 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 теплоспередачі; L - довжина; N_{TT} - кількість ТТ; n_{TT} - кількість рядів ТТ; P - тиск; Q - тепловий потік; R_0 - 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 - випарювач; $г$ - гарячий; e - електроенергія; $з$ - забруднення; $к$ - конденсат; $о$ - основа; $пр$ - продукт; $р$ - ребро; $т$ - теплоносій; $у$ - утилізуемий; $х$ - холодний.

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