

Одеська державна академія харчових технологій

Станевський Олег Леонідович

УДК 66.042.88:664.87.001.57

МОДЕЛЮВАННЯ ТА УДОСКОНАЛЕННЯ ЕНЕРГОВИКОРИСТОВУЮЧИХ ПРОЦЕСІВ
ТА АПАРАТІВ ХАРЧОКОНЦЕНТРАТНИХ ВИРОБНИЦТВ

Спеціальність 05.18.12 - процеси та апарати харчових виробництв

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Одеса - 1999

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Одеській державній академії харчових технологій Міністерства освіти України

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

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор, заслужений діяч науки і техніки УРСР Чепурненко Віктор Павлович, Одеська державна академія холоду, проректор по навчально-методичній роботі, професор кафедри холодильних установок.

кандидат технічних наук, доцент Тітар Сергій Семенович, Одеський державний політехнічний університет, завідуючий кафедрою промислової теплоенергетики.

Провідна установа - Український державний університет харчових технологій, кафедра процесів та апаратів, Міністерство освіти України (м. Київ).

Захист відбудеться "25" червня 1999 р. о 13⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 41.088.01 при Одеській державній академії харчових технологій за адресою: 270039, м. Одеса, вул. Канатна, 112.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Одеської державної академії харчових технологій за адресою: 270039, м. Одеса, вул. Канатна, 112.

Автореферат розісланий "24" травня 1999 р.

Вчений секретар спеціалізованої вченої ради доктор технічних наук, професор

Пилипенко Л.М.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Стратегічним завданням Держхарчопрому України є підвищення ефективності виробництва до рівня економічно розвинутих країн. В першу чергу це потребує значного зниження енерговитрат, питомі значення яких в 2...4 рази вище світового рівня. Значним резервом підвищення конкурентоспроможності харчових виробництв є зменшення втрат вихідної сировини та готового продукту, утилізація теплових викидів. Однак, стан енерготехнологій і специфіка відпрацьованого теплоносія потребують пошуків нетрадиційних рішень. Перспективним шляхом удосконалення енерготехнологій вважається розроблена в ОДАХТ технологія комплексної утилізації теплоти та пилу з відпрацьованого сушильного агента. В основі теплотехнології використовуються сучасні засоби організації теплопередачі - двофазні автономні термосифони та теплові труби (ТС та ТТ). Але впровадження технології потребує досконалого дослідження комплексу сполучено протікаючих процесів тепломасопереносу багатофазного паропилогазового потоку в пучках труб термосифонного теплоутилізатора (ТУ).

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тема дисертації пов'язана з держбюджетною тематикою науково-дослідницьких робіт (шифр 11ГЗН "Удосконалення термотехнологій сушіння харчових продуктів на основі автономних випарно-конденсаційних модулів"), прикладна частина здійснювалась у ході рішення задач за замовленням Одеського комбінату харчових концентратів (ОКХК). Дослідження здійснювались у рамках науково-технічної програми "Розвиток енергетики і енергозбереження в харчовій промисловості України до 2010р." (проекти 2.40 та 3.17). Науково-методологічні положення автора включені до курсу ЕУК9701 "Енергоменеджмент в пищевой промышленности", що був розроблений у складі програми TACIS.

Мета і завдання досліджень. Мета роботи - створення концепції енергозаощадження харчових технологій, що включає науково-методологічні основи зниження енерговитрат діючого обладнання та удосконалення оригінальних систем тепломасоутилізації (ТМУ) на базі ТС, функціонуючих з специфічними аерозольними потоками сушарок.

Поставлена мета визначила завдання для досягнення результатів:

1. Здійснити аналітичні та експериментальні дослідження процесів міжкомпонентного масообміну у ТУ паропилогазового потоку.
2. На основі сформованої бази даних по тепловій ситуації на виробництві створити методичку та програму досліджень системних зв'язків енерготехнологій на різних ієрархічних рівнях (глобальні завдання підлягають декомпозиції на локальні завдання: формування бази даних по джерелах високопотенційних теплових втрат харчових виробництв; формування бази даних по приймачах теплоносіїв, які утилізуються (пошук споживачів низкопотенційної теплоти); розробка принципів схем удосконалення енерготехнологій; розробка математичної моделі енерготехнологій).
3. Із застосуванням отриманих критеріальних рівнянь на основі моделі міжкомпонентної масообмінної взаємодії здійснити аналіз та удосконалити розроблену та впроваджену систему утилізації на виробництві шляхом синтезу ефективних режимів пилоочищення; здійснити виробничі випробування модернізованих енерготехнологій на прикладі харчоконцентратного виробництва.

Наукова новизна одержаних результатів.

- Результати візуальних досліджень та спостережень процесів формування та стікання плівки конденсату та розчинення пилу продукту.
- Частинні залежності між параметрами аерозольного потоку, які характеризують співвідношення компонентів та додаткову ефективність при роботі апаратів, що утилізують продукт із паропилогазового потоку.

- Критеріальні рівняння, які описують процес міжкомпонентного масообміну у міжтрубному просторі утилізатора.

- Методика формування бази даних по теплових втратах виробництва.

- Методика досліджень системи енерготехнологій харчових виробництв на різних ієрархічних рівнях із застосуванням балансових, диференційних, критеріальних рівнянь.

Практичне значення одержаних результатів.

- Інженерна методика визначення коефіцієнтів масопереносу при міжкомпонентному масообміні (визначення параметрів поверхні фазового контакту).

- Термощуп для тарування пірометра при дослідженнях на виробництві.

- Програма розрахунку ізоляції енергомісткого технологічного обладнання.

- Схеми раціонального використання енергоресурсів.

- Програма енергозаощадження для харчоконцентратного виробництва.

- Впровадження технологій ефективної експлуатації ТУ у середовищі паропилогазових потоків з метою очищення енергомістких викидів.

Результати дисертаційної роботи використані на підприємстві хлібопекарської промисловості "Одеса-хліб" у вигляді проекту удосконалення теплових режимів енергомісткого обладнання та на ОКХК як програма енергозаощадження. Одержані результати можливо використати для усіх виробництв, де зустрічаються специфічні потоки відпрацьованого енергоносія (виробництво розчинної кави, цукру, сухого молока, крохмалю, сухих концентратів соків, напоїв, екстрактів) і де здійснюються термічні процеси у енергомісткому обладнанні (харчова, енергетична, металургічна, хімічна галузі).

Особистий внесок здобувача. Здобувач наукового ступеня особисто приймав участь в одержанні усіх наукових результатів, наведених в роботі. Автор створив модель міжкомпонентного масообміну у специфічних потоках у міжтрубному просторі утилізатора; розробив алгоритми розрахунку ізоляції та формування краплини; створив експериментальний стенд із оригінальних пристроїв для моделювання параметрів паропилогазового потоку; отримав частинні залежності, які характеризують додаткову ефективність при роботі ТУ; одержав критеріальні рівняння, які описують процес міжкомпонентного масообміну між складовими елементами паропилогазового потоку у міжтрубному просторі апаратів, що утилізують теплоту та пил із аерозольних потоків; на основі теоретичного узагальнювання експериментальних даних розробив інженерну методику визначення ефективності функціонування ТУ; брав участь у формуванні бази даних по теплових втратах енергомісткого обладнання у ході виробничих досліджень та складанні програми енергозаощадження для ОКХК. Це підтверджується науковими публікаціями, програмами та протоколами виробничих нарад.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертаційної роботи доповідались на щорічних науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу та наукових співробітників ОДАХТ у 1994-1999 рр., подавались на 9-ій Міжнародній конференції "Удосконалення процесів та апаратів хімічних, харчових та нафтохімічних виробництв" (м. Одеса, 1996 р.), на 5-му Міжнародному симпозіумі по теплових трубах (м. Мельбурн, Австралія, 1996 р.), на Міжнародній конференції "Проблеми та перспективи розвитку виробництва та споживання хлібопродуктів" (м. Одеса, 1997 р.), на Міжнародній меморіальній та науково-практичній конференції пам'яті акад. Б.Л. Флауменбаума (м. Одеса, 1997 р.), на 3-му Міжнародному семінарі "Теплові труби, теплові насоси, холодильники" (м. Мінськ, Беларусь, 1997 р.).

Публікації. Основний зміст дисертації викладений у 17 друкованих роботах, з них 3 статті у збірниках наукових праць.

Структура та об'єм роботи. Дисертаційна робота складається з вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаної літератури та додатків. Загальний об'єм становить 235 с., в тому

числі 61 рисунок (на 44 с.), 9 таблиць (на 36 с.), 2 додатків (на 5 с.). Список використаних джерел становить 228 найменувань (на 14 с.).

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність теми дисертаційної роботи, наведена загальна характеристика роботи, сформульовані мета та завдання досліджень, викладені основні теоретичні та експериментальні результати, що мають бути винесені до захисту, позначена їх наукова новизна та практична цінність.

В першому розділі проаналізована актуальність розробок у сфері створення та впровадження сучасних теплотехнологій в харчову галузь АПК України. Для зниження питомих енерговитрат та здійснення концепції ресурсозаощадження необхідно проводити роботи у двох напрямках (рис.1):

- ступінь досконалості теплотехнологій залежить від розв'язування проблеми використання теплоти відпрацьованого агента, тому створення нових технологій базується на розробці систем утилізації; мета досягається шляхом розвитку основ теорії тепломасообміну; математичну модель процесів складено на основі теорії подібності, розрахункову критеріальну залежність уточнюємо із застосуванням аналізу розмірностей; експериментальні методи використовуються для визначення коефіцієнтів у рівняннях;

- для працюючого енергомісткого обладнання актуальним є проведення модернізації термоустановок; результат можливо досягнути на основі застосування системного підходу; працездатність розрахунків значно скорочується при використанні електро-теплової аналогії; складений алгоритм реалізується шляхом комп'ютерного моделювання; апробація здійснюється у ході застосування методів енергоаудиту.

Розглянуто літературні джерела з проблеми, що вивчається, а також порівнюються різні способи утилізації теплоти та маси аерозольного трифазного паропилогазового потоку (очищення викидів відпрацьованого теплоносія від пилу цінного продукту). Показано, що в розвинених країнах в ТУ-системах надається перевага рекуператорам на ТТ та ТС. Обґрунтовується ефективність апаратів на основі автономних випаровувально-конденсаційних модулів. При взаємодії ТМУ та складного потоку, який зустрічається у теплотехнологіях харчових виробництв, тривають процеси як для поодинокі оребреної ТТ, так і для ТС-пучка, який існує у реальному ТМУ(рис.2):

1. Конвективний теплопереніс між чистим повітряно-газовим потоком, що омиває конденсатор ТТ (пучки циліндричних оребрених або плоских гладких труб).

2. Масоперенос пилу на поверхню випаровувача ТТ (при цьому триває зростання товщини забруднюючих відкладень на поверхні теплообміну).

3. Парціальна конденсація на поверхні теплообміну (при цьому зменшується вологовміст потоку та триває зміна величини термічного опору ТТ).

4. Взаємодія шару пилу харчового продукту та плівки конденсату водяної пари у вигляді адгезійно-когезійної реакції вологого шару пилу з поверхнею ТТ.

5. Стікання з поверхні ТТ розчину, який утворюється під час розчинення шару забруднень у випадаючому конденсаті.

6. Сполучено триваючі процеси міжкомпонентної масообмінної взаємодії частин пилу аерозольного потоку та краплин вологи стікаючого конденсату у ході реакцій захоплення та розчинення, що здійснюються у міжтрубному просторі ТМУ на ТТ. Відбувається взаємодія як розчину із паропилогазовим потоком (краплини розчину захоплюють частини продукту із потоку, при цьому зменшується пиловміст потоку, що викидається до навколишнього середовища), так і утилізованого потоку із розчином (частини пилу із потоку збільшують концентрацію розчину, який може повертатися до технологічної схеми харчоконцентратного виробництва).

Дослідження стану проблеми моделювання та удосконалення теплотехнологій дозволяють сформулювати такі наукові положення:

1. У міжтрубному просторі термосифонного рекуператора в умовах парціальної конденсації водяної пари на поверхні термосифона виникають процеси міжкомпонентної взаємодії у аерозольному потоці з пилом продукту та конденсатом, при цьому інтенсивність

міжкомпонентного локального масопереносу визначається параметрами паропилогазового потоку та температурою поверхні теплообміну, впливає на концентраційні та температурні поля в апараті та теплову ефективність апарата.

2. При модернізації діючих енерготехнологічних комплексів теплові зв'язки між енергомісткими тепловиділяючими елементами технологічного обладнання через посередництво фону повітряних об'ємів виробничого цеху та навколишнього середовища слід розглядати із застосуванням системного підходу на вищому ієрархічному рівні цеху при дії принципу суперпозиції на нижчому ієрархічному рівні у межах встановленого обладнання, що чинить вплив на картину просторово-часового розподілу параметрів.

В другому розділі проводиться моделювання процесів.

На ієрархічному рівні заводу (системи "харчоконцентратний комбінат") є можливість обмежитися синтезом статичної моделі, яка подається у вигляді системи балансових рівнянь. Динамічна модель системи на ієрархічному рівні цеху створюється на основі диференціальних рівнянь у часткових похідних, що дозволить описувати динамічні процеси в системі. Рішення системи наводиться або у спрощеній формі за допомогою передаточних функцій, або у розгорнутій формі у вигляді критеріальних рівнянь. При розгляді процесів, що тривають на ієрархічному рівні апарата (системи "аерозольний потік із реагуючими частинами та краплинами у міжтрубному просторі апарата"), достатньо розробити статичну модель.

Постановка задач теорії масообміну краплин з потоком формулюється так. Перенос кожного з компонентів суміші, яка рухається, описується рівняннями, які утворюють систему:

$$\frac{\partial C_m}{\partial \tau} + (v * \Delta) * C_m = D_m * \Delta C_m, \quad (1)$$

де C_m - концентрації речовин; D_m - коефіцієнт дифузії m -компонента суміші, припускається постійним; V - вектор швидкості рідини; τ - час.

Рівняння описує розподіл концентрацій як у потоці, так і всередині краплин, реагуючих із потоком. Рівняння ураховує два різних механізми переносу речовин у потоці, який рухається: 1) при наявності різниці концентрацій відбувається процес молекулярної дифузії; 2) частини розчиненої (розподіленої) речовини захоплюються газом, який рухається, та переносяться разом із ним; сукупність обох процесів є конвективною дифузією. Початкові умови в рівнянні: вихідний профіль концентрацій в перетинах потоку та підсумковий профіль концентрацій в обсязі краплини; межові умови: профіль концентрацій на поверхні та на віддаленні від краплини.

Рівняння конвективної дифузії для одного компонента в стаціонарному режимі виглядає так:

$$Pe(v * \Delta) * C = \Delta C, \quad (2)$$

де V - постійна швидкість, величина масштабу швидкості (здійснюємо віднесення поточних швидкостей до значення характерної швидкості потоку вдалині від краплини на нескінченності); C - концентрація розподіленої речовини, величина масштабу концентрацій (віднесення поточних та рівноважних концентрацій).

Отже, розглядаємо задачу щодо усталеного масообміну частин у системі багатьох осьосиметричних краплин, розташованих одна за одною на осі поступового на нескінченності потоку. Під час парціальної конденсації на поверхні ТТ відбувається процес зростання та відриву осьосиметричної краплини. У рамках моделі еволюція краплини поділяється на три етапи. На першому етапі (лінія 1 на рис.3) йде зростання об'єкта, до того ж крайовий кут φ_0 збільшується до рівноважного, а радіус контакту (радіус плями торкання R_0) - до найбільшого значення. Зростання об'єкта на другому етапі (лінія 2) протікає за рахунок зміни його поверхні, радіус та крайовий кут контакту залишаються незмінними. На третьому етапі (лінія 3) зростання поверхні

контакту середовищ протікає не тільки за рахунок збільшення маси об'єкта, але й за рахунок його відокремлення.

Вирішуючи задачу видобутку конденсату з потоку треба знати діаметр краплини у мить її відриву від шару опадів на поверхні ТТ. За час перебування у міжтрубному просторі краплина перетинає запилований потік, захоплюючи нові частини твердої фази. Застосування критеріальних рівнянь для розрахунку концентрації конденсату потребує знання про визначальний розмір - діаметр краплини. Аналітичне визначення діаметра краплини потребує рішення рівняння Ейлера для її контура у мить відриву. Рівняння Ейлера виглядає таким чином:

$$\frac{z''(r)}{\left(1 + (r'(z))^2\right)^{3/2}} + \frac{z'(r)}{r\left(1 + (r'(z))^2\right)^{1/2}} = -\frac{z(r)}{a^2} + \lambda, \quad (3)$$

де r - поточне значення радіальної координати; z - поточне значення осьової координати в зонах краплини. Але це рівняння не має аналітичного рішення у замкненій формі. Тому можливі два способи рішення задачі: або шукати приблизне рішення точного рівняння контура краплини, або знайти точне рішення її близького контура. Спроби застосувати перший спосіб, що потребує досить трудомістких обчислювальних програм, відомі. Тому зупинимося на другому способі, який не вимагає застосування спеціальних функцій. Оскільки контур краплини у мить її розриву на дві частини має тільки дві точки перегину, то його можна скласти з трьох частин, кожна з яких випукла тільки в один бік: перша частина (I на рис.3) - від плями змочування до лінії відриву (r_0 - радіус поперечного перетину краплини вздовж лінії відриву); друга частина (II) - від лінії відриву до точки перегину (r_1 - радіус поперечного перетину краплини в точці перегину); третя частина (III) - від точки перегину. Отримана система алгебраїчних рівнянь залежить від параметрів рівняння Ейлера та дозволяє визначити еквівалентний радіус краплини.

Для визначення потоку речовини на поверхню краплини будемо аналізувати такі структури критеріальних рівнянь:

$$Sh = APe^k = 1 + BPe^l = 1 + \frac{RPe^n}{1 + SPe^m} \quad (4)$$

$$\text{або } Sh = f(Pe) \left(\frac{V_T}{V_0}\right)^X \left(\frac{C_T}{C_0}\right)^Y \left(\frac{D_T}{D_0}\right)^Z, \quad (5)$$

що дозволяє при моделюванні у ході комп'ютерного експерименту зменшити похибки при апроксимації дослідних даних та урахувати необхідні коефіцієнти масштабування по витратам потоку V , концентрації пилу C та вологи D у потоці.

При цьому T - поточне значення параметру, O - фіксоване базове значення параметру відповідно до основного варіанту здійснення процесу;

$$\text{число Шервуда } Sh = \frac{\beta * l}{D}, \text{ число Пекле } Pe = \frac{v * l}{D}, \quad (6)$$

β - коефіцієнт масопереносу, D - коефіцієнт дифузії, l - лінійний розмір.

Обробку результатів експериментальних досліджень здійснюємо у відповідності до отриманого критеріального рівняння для визначення потоку речовини. Відносну масову частку

продукту, захоплену краплинами у міжтрубному просторі утилізатора (безрозмірний та масовий потоки речовини на поверхню краплини) визначаємо у вигляді:

$$\Delta m * M = \beta * F * (C_P - C_T) * \rho * \tau , \quad (7)$$

де Δm - відносна масова частка розчиненого пилу, M - загальна маса продукту, який знаходиться у потоці, F - поверхня масопереносу, визначається лінійним параметром (площа поверхні контакту взаємодіючих фаз - твердих частин та рідких краплин, або взаємодіючих середовищ - суцільного потоку та дискретних краплин), C_P - рівноважна критична концентрація утвореного розчину (найбільша кількість кави, що була розчинена в об'ємі води), C_T - поточна концентрація, ρ - щільність продукту, τ - час досліду (тривалість процесу).

Найбільш цікавим є вибір лінійного параметра у залежностях, що відображають хід експерименту. У відповідності до прийнятої розрахункової методики, таким параметром є діаметр краплини (здійснюється взаємодія дисперсних (дискретних) краплин із спільним цілим у вигляді паропилогазового потоку, в якому частини пилу продукту розподілені рівномірно). Альтернативним підходом є використання діаметра частини (частини кави набагато менша, ніж краплина конденсату, тому інтенсивність масообмінного процесу визначається поверхнею частини як поверхнею розділу взаємодіючих фаз та місцем концентрації найбільшого опору процесу). Зважаючи на вище викладене, при розгляді процесів у потоці будемо користуватися не теоретичними, а експериментальними методами для отримання залежностей виду $\Delta C = Sh, Pe(v)$ та критеріальних рівнянь типу $Sh = f(Pe)$, які є основою загальноприйнятих інженерних методик розрахунку параметрів триваючих процесів, що відбуваються у потоці та служать для проектування відповідного технологічного обладнання.

В третьому розділі подані результати експериментальних досліджень (рис.4-6) (табл.1). Експериментальне моделювання робочих режимів пов'язано із рядом проблем:

1) у потоці необхідно створити рівномірний розподіл пилу та вологи як у просторі, так і у часі;

2) для розрахунку частки захопленого пилу у ході реакції із краплинами необхідно вимірювати малі значення маси продукту.

Для подолання вказаних складностей пропонується така методика дослідів. За допомогою розроблених оригінальних пристроїв у потоці моделюються необхідні параметри системи відпрацьованого енергоносія. Розчин продукту, що утворився у ході реакції між частинами та краплинами, збирається у окремих ємкостях для кожного просторово-часового фрагмента системи та по величині концентрації одержаного екстракту визначаємо масову частку захопленого пилу.

Характеристика об'єму експериментальних досліджень

Параметр		Значення	
		у виробничих умовах	на експериментальному стенді
швидкість повітря, м/с		2...8	1...20
концентрація пилу	$\frac{KG_{ПР}}{KG_{ПОВ}}$	$(0,2...0,3) * 10^{-3}$	$(0,125...15) * 10^{-3}$
	$\frac{M_{ПР}^3}{M_{ПОВ}^3}$	$(0,625...0,965) * 10^{-6}$	$(0,400...50) * 10^{-6}$
зміна концентрації вологи	$\frac{KG_{ВОД}}{KG_{ПОВ}}$	$(70...120) * 10^{-3}$	$(65...5000) * 10^{-3}$
	$\frac{M_{ВОД}^3}{M_{ПОВ}^3}$	$(70...120) * 10^{-6}$	$(65...5000) * 10^{-6}$

Співвідношення між локальними параметрами, що характеризують процес масообміну на першій трубі, та інтегральними параметрами, що описують ефекти, які виникають у трубному пучці у реальному апараті, беруться до уваги за допомогою коефіцієнта у залежності (4). Визначено існування максимуму на графіку залежності частки захопленого пилу на другому ряді ТТ, яке пояснюється тим, що триває перенос краплин, які прореагували з частинами із простору першого ряду в зону вимірювань параметрів масообмінних процесів на другому ряді ТТ, що веде до збільшення частки розчиненого пилу. Плоска водяна завіса вигинається у просторі, забезпечуючи перенос краплин та частин між рядами ТТ. Далі відбувається зниження інтенсивності реакцій по мірі вичерпання пиловмісту потоку, тому ефект винесення частин та краплин не спостерігається.

Взагалі було проведено 90 експериментів (75 для першої труби та 15 для трубного пучка), отримано понад 225 дослідних точок, що встановлюють інтенсивність міжкомпонентного масопереносу у різних рядах ТТ в залежності від режимних параметрів. Якісний характер цих залежностей подібний до ліній, що подані на рис. 4,5. За результатами візуальних спостережень та попередньої математичної обробки експериментальних даних можливо зробити висновок щодо адекватності існуючих уявлень про процеси реакції частин та краплин у міжтрубному просторі ТМУ на ТТ при функціонуванні обладнання у найбільш характерних технологічних режимах. В результаті виконаних аналітичних досліджень виникає можливість розраховувати додаткову масову частку пилу, не тільки захоплену на поверхні ТТ за допомогою накатно-гвинтового оребрення труб, а і розчинену у міжтрубному просторі апарату у ході реакції із краплинами стікаючого конденсату. Концентрація пилу знижується, результативність функціонування технологічного агрегату у цілому підвищується.

В четвертому розділі наведена інженерна методика розрахунку параметрів теплотехнологічної системи харчового виробництва на прикладі ОКХК. Особлива увага при проведенні досліджень на функціонуючих об'єктах приділяється тепловим втратам, оскільки саме ефективне використання ресурсів визначає рівень досконалості енерготехнологій. Визначені три основні групи теплових втрат: втрати із відпрацьованим енергоносієм (сушарний агент, гріюча пара, конденсат, який не повертається), втрати із гарячим продуктом на виході із апарату, де здійснюються процеси термічної обробки сировини, втрати від стінок корпусів обладнання у випадку недосконалості або зношеного стану ізоляції. Результати вимірювання підтверджують коректність бази даних по теплових втратах виробництва.

Інженерна методика розрахунку систем ТМУ на основі ТС включає узагальнені дослідні дані по міжкомпонентному масообміну третього розділу. Результати цих апроксимацій наведені у табл.2. Розрахунок був проведений на основі рівняння (4) за допомогою оригінальної комп'ютерної програми. Результати розрахунків підтвердили вірогідність запропонованої гіпотези про переважне використання за визначаючий лінійний параметр критеріального рівняння діаметра краплини, а не діаметра частини. Встановлено, що з ускладненням форми критеріального рівняння структури (4) точність розрахунків збільшується незначно.

Таблиця 2

Параметри критеріальних рівнянь, що описують міжкомпонентний масоперенос

Значення коефіцієнтів	Від критеріального рівняння $Sh = f(Pe) \left(\frac{M_T}{M_0}\right)^R \left(\frac{X_T}{X_0}\right)^P \left(\frac{F_T}{F_0}\right)^Q$		
	$f(Pe) = APe^n$	$f(Pe) = 1 + APe^n$	$f(Pe) = 1 + \frac{APe^n}{1 + BPe^m}$
A	1054	1055	2724
B	-	-	84,1
n	-0,523	-0,523	-0,523
m	-	-	-0,199
R	5,53	5,53	5,53
P	0,851	0,853	0,855
Q	-	-	-

В п'ятому розділі подані результати досліджень. Шляхом розробки нових теплотехнологій створюється методика розрахунку параметрів ТУ, результатом робіт по модернізуванню традиційного енергомісткого обладнання служить програма енергозаощадження для ОКХК.

Розрахунок для виправлення існуючого дисбалансу при визначенні розподілу пилу в ТУ був проведений у відповідності до відомого алгоритму. На ОКХК на працюючому у складі лінії виробництва розчинної кави ТУ здійснювався експеримент по вимірюванню концентрацій пилу продукту до і після трубного пучка ТС. За допомогою комп'ютерної програми була визначена зміна полів пиловмісту по рядах в апараті. Потім у алгоритм внесли уточнення, що ураховують міжкомпонентний масообмін, тобто взаємодію пилу потоку не тільки з поверхнею ТТ, але і з стікаючою вологою конденсату. Нові залежності забезпечують краще наближення розрахункових величин до експериментальних значень, що дозволило розв'язати завдання роботи - створити методику моделювання всієї повноти сполучено триваючих процесів тепломасообміну у міжтрубному просторі ТМУ-апарата. Результати розрахунків та вимірювань подані на рис.7. При цьому похибка визначення полів розподілу пилу зменшилася від 50,9 до 16,4%.

При розгляді проблем, що виникають у ході проведення енергозаощаджуючих заходів, необхідно ураховувати порівняльну складність їх рішення для різних груп теплових втрат. При змінах у існуючих конструкціях ізоляційних покриттів вносяться зміни у картину розподілу температурних полів та теплових потоків у складній системі виробничого цеху. Система складається із різноманітних апаратів, які споживають різні види енергоносіїв (газ, пара, повітря). Застосування ТУ потребує проведення складних розрахунків, беручи до уваги природу трифазного паропилогазового потоку із реагуючими краплинами та частинами, а також сполучено триваючі тепломасообміни, аеродинамічні процеси. Викладене визначає напрями досліджень у галузі удосконалення енерготехнологій. Система підприємства, що використовується у ході

удосконалення теплотехнологій та проведення заходів по енергозаощадженню, зображена на рис.8.

При дослідженнях на підприємствах харчової промисловості в рамках застосування системного підходу проведено формування бази даних джерел теплових втрат та їх потужностей. Порівняльна ефективність заходів, що здійснюються на різних етапах реалізації програми енергозаощадження, подана у вигляді стовбчатої гістограми, за допомогою якої відображаються абсолютні величини для усього комбінату у цілому (рис.9). У відповідності до груп втрат запропоновані методи їх ліквідування. У технологіях харчоконцентратного виробництва процес здійснюється з невеликою кількістю продукту, тому енергомісткість втрат цієї групи є малою. Для використання теплоти відпрацьованого енергоносія можливе застосування утилізаторів на основі випаровувально-конденсаційних автономних термосифонних модулів, що дозволяє скоротити витрати палива на 8-15% по заводу і до 35-40% по окремих апаратах. Встановлені шляхи зниження втрат теплоти з несконденсованою парою в калориферах від 80 до 20% (від енергії, що споживається) шляхом встановлення конденсатодвідників та раціоналізації режимів роботи. Для енергомісткого обладнання харчоконцентратного виробництва (сушарки, обжарювальні, варильні, екстракційні установки, газові топки котельних агрегатів та технологічних апаратів, парові та вогневі калорифери) актуальною є проблема ліквідування втрат від стінок корпусів із-за конвективного та радіаційного теплопереносу. Удосконалення теплового стану цеху за допомогою розробленої методики дозволить ці втрати скоротити від 5 до 1% від номінальної потужності обладнання.

ВИСНОВКИ

1. Математичним та експериментальним моделюванням доведена справедливність запропонованої гіпотези про істотний вплив процесів міжфазної взаємодії компонентів в паропилогазовому потоці у міжтрубному просторі термосифонного рекуператора в умовах парціальної конденсації водяної пари як на ефективність очищення потоку, так і на інтенсивність тепломасопереносу середовища та енергії в утилізаторі. Використання рівняння (5) дозволяє зменшити похибку визначення концентраційних полів в ТМУ із 50,9 до 16,4%.

2. Натурні дослідження та комп'ютерне моделювання довели, що теплові зв'язки між енергомісткими тепловиділяючими елементами промислового обладнання через посередництво фону повітряних об'ємів технологічного цеху та виробничого помешкання слід розглядати із застосуванням системного підходу на вищому ієрархічному рівні цеху при дії принципу суперпозиції на нижчому ієрархічному рівні у межах встановленого обладнання при модернізуванні діючих теплотехнологічних комплексів, що впливає на картину просторово-часового розподілу параметрів.

3. Визначене сполучення параметрів потоку - швидкості (інерції руху), вологовмісту, пиловмісту (забрудненості газових викидів) - характеризує критичну точку. При досягненні критичної зони комплексу параметрів триває перерозподіл частки першопочатково захопленого та потім кінцеве розчиненого пилу між рядами ТТ, що визначає екстремальний нелінійний характер полів концентрації продукту в утилізаційному апараті. Механізм тривання процесу міжфазної взаємодії, який припускається, підтверджується візуальними якісними спостереженнями та математичними кількісними розрахунками реакції захоплення частинок легкого пилу краплинами стікаючої вологи.

4. В основі інженерної методики розрахунку конструктивних параметрів та експлуатаційних режимів утилізаційного обладнання лежить критеріальне рівняння, що рекомендовано (5), структура якого вибрана з ряду альтернативних залежностей. При характеристиці розмірів поверхні фазового контакту (коефіцієнтів, що описують діапазон ефектів в процесі масопереносу) визначаючим розміром (таким, що береться за лінійний параметр у

рівнянні) є діаметр краплини, а діаметр частини не впливає істотним чином на інтенсивність міжкомпонентної реакційної взаємодії.

5. Можливість здійснювати практично повне очищення викидів відпрацьованого теплоносія у вигляді аерозольного трифазного паропилогазового потоку потребує або організації впровадження специфічних режимів експлуатації утилізаційних апаратів, або застосування лише у визначеному діапазоні співвідношень компонентів потоку, який утилізується в установці.

6. База даних по теплових втратах виробництва, яка сформована на прикладі ОКХК є коректною, що підтверджується за допомогою оригінальної конструкції термошупа, шляхом застосування якого здійснювалось тарування показань пірометра, що був використаний для проведення аналогічних досліджень дистанційним методом.

7. Подання виробництва харчових концентратів на різних ієрархічних рівнях із застосуванням апарата математичного моделювання (шляхом створення системи балансових, диференціальних, критеріальних рівнянь) може бути доцільним для отримання теплотехнологічного характеристичного образу ОКХК.

8. Програма розрахунку та обґрунтування раціональних теплових режимів енергомісткого технологічного обладнання створена за допомогою методу електротеплової аналогії з урахуванням системних зв'язків між різноманітним термічним обладнанням, у якому здійснюється обробка сировини та продукту. Це дозволило спростити проблему, що розробляється, на основі переходу від розгляду складної теплової картини комплексу виробництва харчових концентратів до рішення зворотної задачі теплопровідності із застосуванням комбінованих експериментально-аналітичних методів. Програма дає можливість визначати умови еколого-ергономічної комфортності праці та енерго-екологічної доцільності процесу у виробничому помешканні.

9. Програма енергозаощадження для технологічних виробництв у складі харчоконцентратної та харчової галузей базується на використанні раціональних схем руху та застосування теплоресурсів. Доцільність запропонованих рішень доведена шляхом здійснення апробації методики енергоаудиту та енергозаощадження для хлібопекарського та харчоконцентратного виробництв. У ході синтезу програми встановлені пріоритети етапів впровадження на основі аналізу порівняльної ефективності шляхів скорочення питомого теплоспоживання, що було подано у вигляді піраміди енергозаощадження. Розроблені заходи можливо здійснювати на підприємствах усіх галузей, де зустрічаються специфічні потоки із пилом, якій розчиняється, та термічне обладнання, яке потребує удосконалення теплового стану.

Список опублікованих праць за темою дисертації.

1. Дослідження закономірностей кінетики сушіння навути / Г.Н. Станкевич, Альхоган Адель, Л.К. Овсянникова, О.Л. Станевський - Наукові праці ОДАХТ, МО України, Вип.16. Удосконалення існуючих та розробка нових технологій для харчової та зернопереробної промисловостей.- Одеса,1996.-С.258-263.

2. Моделювання аерозольних потоків з реагуючими частинами / О.Л. Станевський, В.Я. Гамоліч, С. Гайда, О.Г. Бурдо - Наукові праці ОДАХТ, МО України, Вип.18. Удосконалення існуючих та розробка нових технологій для харчової та зернопереробної промисловостей.- Одеса,1998.-С.217-221.

3. Станевський О.Л., Терзієв С.Г., Саламаха В.І. Моделювання аерозольних потоків з реагуючими частинами // Наукові праці ОДАХТ, МО України, Вип.19. Удосконалення існуючих та розробка нових технологій для харчової та зернопереробної промисловостей.- Одеса,1999.-С.251-253.

4. Станевский О.Л., Вискалова И.М. Моделирование теплового состояния хлебопекарного цеха методом электротепловой аналогии // Наукові праці " Проблеми та перспективи розвитку

виробництва та споживання хлібопродуктів”, Том 6. “Енерго і ресурсозберігаючі техніка і технологія. Моделювання енерготехнологій”.- Одеса,1996.- С.57-59.

5. Станевский О.Л., Терзиев С.Г. Теплоперенос трехфазного потока в теплоутилизаторах // Наукові праці “Проблеми та перспективи розвитку виробництва та споживання хлібопродуктів”, Том 6. “Енерго і ресурсозберігаючі техніка і технологія. Моделювання енерготехнологій”.- Одеса,1996.- С.60-62.

6. Станевский О.Л., Терзиев С.Г., Кныш А.И. Теплоперенос трехфазного потока при реагирующих с потоком частицах // Научные труды международной мемориальной и научно-практической конференции памяти акад. Б.Л.Флауменбаума.- Часть 2.- Одесса: Астропринт,1997.- С.363-372.

7. Станевский О.Л., Гайда С. Компьютерное моделирование теплового состояния производственного цеха // Научные труды международной мемориальной и научно-практической конференции памяти акад. Б.Л.Флауменбаума.- Часть 2.- Одесса: Астропринт,1997.- С.390-394.

8. Burdo O.G., Domansky R.A., Stanevsky O.L. Condensation heat transfer on the grooved capillary surfaces // 5-th International heat pipe symposium, November 17-20, 1996.- Melbourne, Australia.- P.151-157.

9. Heat pipes in the processes and apparatuses of food productions / O.G. Burdo, S. Gayda, E.A. Kovalenko, O.L. Stanevsky - 3-th International seminar “Heat pipes, Heat pumps, Refrigerators”, September 15-18, 1997.- Minsk, Belarus.- P.130-134.

10. Бурдо О.Г., Терзиев С.Г., Станевский О.Л. Технология снижения тепловых потерь оборудования // ОЦНТИ, информационный листок о научно-техническом достижении № 070-96.- Одесса,1996.

11. Энергетический аудит технологического оборудования и производств / О.Г. Бурдо, С. Гайда, И.М. Вискалова, О.Л. Станевский - ОЦНТИ, информационный листок о научно-техническом достижении № 185-97.- Одесса,1997.

12. Станевський О.Л., Світличний П.І., Чередник К.А. Визначення статичних характеристик теплообмінника // ОТИПП ім. М.В.Ломоносова. Тезиси докладов 54-й научної конференції.- Часть 2.- Одесса,1994.- С.68.

13. Остапчук Н.В., Станевский О.Л., Лысенко В.А. Анализ контуров управления процессом теплообмена // ОГАПТ. Тезиси докладов 55-й научної конференції.- Часть 1.- Одесса,1995.- С.226.

14. Птащук А.І., Станевський О.Л., Берегулько В.І. Порівняльний аналіз динамічних характеристик теплообмінника // ОГАПТ. Тезиси докладов 56-й научної конференції.- Часть 1.- Одесса,1996.- С.192.

15. Бурдо О.Г., Станевский О.Л., Гайда С. Моделирование энерготехнологий пищевых производств методом электротепловой аналогии // ОГАПТ. Тезиси докладов 56-й научної конференції.- Часть 1.- Одесса,1996.- С.171.

16. Станевский О.Л., Терзиев С.Г. Экспериментальный стенд для исследований теплоотдачи влажного запыленного газа к оребренной тепловой трубе // ОГАПТ. Тезиси докладов 56-й научної конференції.- Часть 1.- Одесса,1996.- С.176.

17. Станевский О.Л., Перетяка С.Н., Терзиев С.Г. Системный анализ энерготехнологий пищевого концентратного производства // Тези доповідей ІХ-ї Міжнародної конференції “Удосконалення процесів та апаратів хімічних, харчових та нафтохімічних виробництв”.- Частина 7 “Ресурсозберігаючі та екологічно чисті енерготехнології. Теплові труби. Теплові насоси.” - Одеса,1996.- С.31.

Анотація

Станевський О.Л. Моделювання та удосконалення енерговикористовуючих процесів та апаратів харчоконцентратних виробництв. - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.18.12 - процеси та апарати харчових виробництв. - Одеська державна академія харчових технологій, Одеса, 1999.

Дисертація присвячена розробці наукових основ енергозаощадження. Здійснено дослідження ефектів міжкомпонентної масообмінної взаємодії елементів аерозольного потоку у міжтрубному просторі утилізатора, які раніш не були вивчені. Розроблені основи теорії тепломасопереносу паропилогазового теплоносія у ТС-утилізаторах, які включають еволюційну класифікацію специфічних процесів переносу та математичні та емпіричні моделі комбінованих процесів. Розроблені алгоритм та програма для аналізу теплової ситуації підприємства та мінімізації теплових втрат обладнання за рахунок створення можливостей вироблення доцільного (економічно виправданого) обґрунтування проектуванню посиленої досконалої термічної ізоляції. Методами математичного та експериментального моделювання доведена коректність наукових основ інженерного проектування та технічної експлуатації тепломасоутилізаційних апаратів на базі двофазних випарувально-конденсаційних автономних модулів (ТТ та ТС).

Ключові слова: енергозаощадження, теплотехнології, теплові труби, тепломасоперенос, теплоутилізація.

Аннотация

Станевский О.Л. Моделирование и совершенствование энергоиспользующих процессов и аппаратов пищевых концентратных производств. - Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.18.12 - процессы и аппараты пищевых производств. - Одесская государственная академия пищевых технологий, Одесса, 1999.

Диссертация посвящена разработке научных основ энергосбережения на примере пищевых концентратных производств. Результаты работы возможно применить во всех отраслях, где встречаются специфические потоки отработанного теплоносителя (изготовление растворимого кофе, сухого молока, сахара, экстрактов напитков) с растворимой пылью готового продукта и где используется энергоемкое устаревшее оборудование (энергетика, металлургия, химия), требующее модернизации изоляции на корпусах. Проведен анализ функционирующих средств утилизации теплоты и массы ценного продукта из специфических выбросов технологических агрегатов. Установлено, что наиболее актуальным в современных условиях является использование теплообменников на основе обтекаемых и ребренных ТТ и ТС. На базе анализа результатов производственной деятельности внедренных утилизационных аппаратов осуществлено исследование ранее неизученных эффектов межкомпонентного массообменного взаимодействия элементов аерозольного трехфазного потока в межтрубном пространстве утилизатора. Разработаны основы теории тепломасопереноса паропылегазового теплоносителя в термосифонных тепломасоутилизационных аппаратах, которые включают эволюционную классификацию специфических процессов переноса, отображающую взаимодействие аерозольного потока и термосифонного пучка, а также математические и эмпирические модели комбинированных процессов переноса, полученные с использованием теории подобия и метода анализа размерностей. Даны рекомендации для расчета тепломассообмена при проведении инженерных процедур определения параметров и характеристик утилизационного оборудования. Установлена взаимосвязь между следствием - изменением поля температуры движущейся среды в аппарате и причиной - изменением поля концентрации пыли в потоке из-за дополнительного эффекта улавливания пыли в межтрубном пространстве, уменьшения толщины и термического сопротивления слоя пыли на поверхности теплообмена ТТ, увеличения теплового потока от движущейся среды к поверхности ТС. Помимо прямой, существует и обратная логическая последовательность, отражающая связь между сопряженно протекающими взаимодействующими

процессами: определено соотношение между следствием - изменением поля пылесодержания потока и причиной - изменением поля температуры в воздушном пространстве рядов ТТ в аппарате из-за охлаждения трехфазного аэрозольного паропылегазового теплоносителя, парциальной конденсации водяного пара на поверхности теплообмена ТТ, реакции межкомпонентного массообменного взаимодействия частиц летящей пыли в потоке и каплями стекающей влаги с поверхности ТС (образовавшийся конденсат дополнительно улавливает продукт из отработанных выбросов технологических установок; при этом происходит увеличение концентрации экстракта, возвращаемого в основное производство). Разработаны алгоритм и программа для анализа тепловой ситуации предприятия и минимизации тепловых потерь оборудования за счет создания возможностей выработки целесообразного (экономически оправданного) обоснования проектированию усиленной совершенной термической изоляции. Методами математического и экспериментального моделирования доказана корректность научных основ инженерного проектирования и технической эксплуатации тепломассоутилизационных аппаратов на базе двухфазных испарительно-конденсационных автономных модулей (тепловых труб и термических сифонов). В ходе проведения энергоаудита составлена программа энергосбережения для пищекоцентражного комбината, отвечающая современному уровню. Программа предусматривает иерархию приоритетов, в соответствии с которыми реализуются этапы энергосбережения: от первоначальных организационно-технических мероприятий, не требующих капиталовложений, до перспективных научно-технологических исследований по созданию производства на альтернативных физических принципах, срок внедрения которых не может быть спрогнозирован с требуемой точностью и ответственностью. В распоряжение специалистов предприятия поступает развернутый информационный материал, позволяющий принимать рациональные решения в конкретной экономической ситуации.

Ключевые слова: энергосбережение, теплотехнологии, тепловые трубы, тепломассоперенос, теплоутилизация.

The summary

Stanevsky O.L. Modelling and perfecting energy used processes and meanses food-concentrate of productions. - Manuscript.

Thesis on competition of a scientific degree of the candidate of engineering science on a speciality 05.18.12 - processes and meanses of food productions. - Odessa state academy of food technologies, Odessa, 1999.

The thesis is devoted to development of scientific bases energy-saving. The research before the unexplored effects intercomponent mass-exchange of interaction of elements of an aerosol stream in inter-pipe space utilizator is carried out. Are developed by a fundamentals of the theory heat-mass-carrying vapour-dust-gas of the heat-carrier in TS-utilizators, which include a developmental classification of specific processes of transposition and mathematical and empirical models of combined processes. Are developed algorithm and program for the analysis of a thermal situation of the enterprise and minimization of thermal losses of the equipment at the expense of creation of possibilities of development expedient (economically justified) substantiation to designing of strengthened perfect thermal isolation. The methods of mathematical and experimental modelling prove a correctness of scientific bases of engineering designing and technical operation heat-mass-utilization of meanses on basis of two-phase evapour-condensation autonomous modules (heat pipes (HP) and thermal siphons (TS)).

Key word: energy-saving, heat-technologies, heat pipes, heat-mass-carrying, heat-utilization.

Підписано до друку 21.05.1999. Формат 60*841/16
Об'єм 1,0 умов.друк.арк. Замовлення № 178. Тираж 100 прим.
Відділ поліграфії ОДАХТ /м.Одеса, вул.Канатна, 112/