

Авторуф.
П. 24

ОДЕСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

На правах рукопису

ПЕРЕТЯКА СЕРГІЙ МИКОЛАЙОВИЧ



УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕРМОТЕХНОЛОГІЙ СУШІННЯ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ
НА ОСНОВІ АВТОНОМНИХ ВИПАРНО-КОНДЕНСАЦІЙНИХ МОДУЛІВ

Спеціальність: 05.18.12 – процеси та апарати
харчових виробництв

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата
технічних наук

Одеса – 1995

м

внєрш
17

Дисертація є рукописом

Робота виконана в Одеській державній академії харчових технологій

НАХТ
Удосконалення термот

25.06.12

доктор технічних наук,
професор БУРДО Олег Григорович

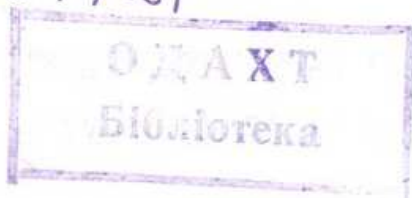


v017181

ти:

доктор технічних наук,
професор СМІРНОВ Генріх
Федірович;
кандидат технічних наук,
доцент ХАЛАЙДЖИ Владислав
Миколайович

v017181



Провідна організація: НВО "Консервпромкомплекс" м.Одеса

Захист відбудеться "30" листопада 1995 р. о 10³⁰ годині
на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 05.16.01 при Одеській
державній академії харчових технологій за адресою: 270039,
м. Одеса, вул. Канатна, 112.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Одеської
державної академії харчових технологій.

Автореферат розіслано "30" листопада 1995 р.

Вчений секретар спеціалізованої

12

Б.В.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність. При виробництві цукру, крохмалю, кави, сухих молочних продуктів і т.п. широко використовуються конвективні сушарки, на виході з котрих відпрацьований агент сушіння має температуру 60–150°C і утримує значну кількість вологи та пилу продукта. Використання традиційної теплоутилізаційної апаратури при таких характеристиках теплоносія неможливо або неефективно. В розвинутих державах в системах "газ–газ" ефективно використовуються теплообмінники на теплових трубах, які мають ряд переваг по зрівнянню з традиційними рекуператорами. Однак, задача утилізації харчового пилу продукта в таких апаратах не ставиться. Тому створення апаратів для комплексної утилізації теплоти відпрацьованого теплоносія та пилу харчового продукта виявляється гостроактуальною проблемою.

Мета і задачі досліджень. Розробити систему утилізації теплоти та пилу харчового продукта /СУТП/ з відпрацьованого агента сушіння, утворити наукові основи таких теплотехнологій та інженерні методи проектування і оптимізації утилізаторів,

Поставлена мета визначила задачі досліджень:

1. Провести аналітичні та експериментальні дослідження процесів тепломасопереносу.
2. Розробити методику, алгоритм та програму оптимізації СУТП.
3. Провести виробничі випробування СУТП для перевірки та корективної одержаних методик.

Наукову новину складають такі результати:

- трьохзонна модель адгезійної взаємодії пилу продукта з поверхнею конденсації;
- кінетичні закономірності взаємодії пилу продукта /кава,

цукор, крохмаль/ з конденсатом на поверхні оребреної труби, співвідношення для розрахунку товщини шару забруднення на ТС;

- адгезіоно-когезіонні властивості харчових продуктів /розчинена кава, картопляний крохмаль, цукор-рафінад, сухе суцільне молоко, сухі молочні вершки/;

- дані візуальних досліджень процесу розчинення шару пилу продукту в процесі конденсації парів з парогазового потоку;

- методика оптимізації системи утилізації теплоти та пилу продукту на основі автономних випарно-конденсаційних модулів в умовах сполученого тепломасопереноса з вологим запи-леним потоком;

- результати виробничих досліджень системи утилізації теплоти та пилу продукту.

Новими практичними результатами з'являються:

- система комплексної утилізації теплоти і пилу продукту. Прибуток від випровадження СУТП складає 12% палива і 0,4% продукту при міцності сушарки 500 т продукту за рік;

- програма оптимізації системи утилізації теплоти та пилу продукту на основі автономних випарно-конденсаційних модулів.

Апробація роботи. Основні результати дисертаційної роботи доповідались на щорічних науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу та наукових співробітників ОДАХТ у 1992...1995 р.р., подавалися на II Міжнародній конференції по проблемам екології та ресурсозберігання для агропромислових комплексів /м.Одеса, 1992 р./, на Міжнародній науково-технічній конференції "Розробка та впровадження нових технологій та обладнання в харчову та переробну галузь АПК" /м.Київ, 1993 р., 1995 р./, на IX Міжнародній конферен-

ції "Теплові труби" /США, м.Альбукерк, 1995 р./, на Міжнародній конференції /"Теплові труби та теплові насоси" /м.Мінск, 1995 р./.

Публікації. Основний зміст дисертації відбито у 15 друкованих роботах, з них була подана одна заява на патент України.

Структура і обсяг роботи. Дисертація складається з вступу, п'яти розділів, висновків та додатків. Робота викладена на 110 сторінках машинописного тексту, містить 13 малюнків, 15 таблиць, список літератури з 137 джерел, з яких 22 роботи іноземних авторів.

На захист виносяться слідуєчі наукові положення, отримані особисто автором:

1. Ефективність роботи апаратів, які утилізують теплоту паропилегазового потоку в умовах конденсації водяної пари, визначається структурою шару відкладень пилу на поверхні ТС з боку цього потоку.

2. Структура відложень, адгезіоно-когезіонні характеристики визначають взаємодію конденсата і поруватого шару пилу, при зволоженні якого адгезіоно-когезіонні сили спочатку зростають, досягаючи максимума при першому критичному вологовмісту, а потім зменшуються до досягнення другого критичного вологовмісту, після чого визначаючими стають сили гравітації, тобто шар відкладень переходить у стан текучості.

ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обгрунтована актуальність роботи, сформульовані мета та задачі досліджень, приведена загальна характеристика роботи.

В першому розділі проаналізовані літературні джерела сві-

тової науково-технічної літератури з даної проблеми, а також порівнюються різні засоби і методи утилізації теплоти відпрацьованого теплоносія, аналізуються засоби і методи очищення газового потоку від пилу. Приводяться оцінки втрати теплоти і пилу продукта з відпрацьованим сушильним агентом /табл.1/. Обґрунтовується ефективність апаратів на основі автономних випарно-конденсаційних модулів, а саме термосифони /ТС/, які застосовуються на різних підприємствах. Аналізуються різні методи очищення теплопередаючих поверхней від відкладень продукта. Розглядаються процеси, які протікають в апараті на основі випарно-конденсаційних модулів, показується, що не вивчено сполучене протікання процесів осадження пилу і випадіння конденсату на поверхні ТС.

В результаті пропонується система передачі теплоти відпрацьованого теплоносія до нагріваемого повітря за допомогою ТС і витягання пилу продукта шляхом сепарації її на теплопередаючих поверхнях, для очищення яких використовується процес конденсації парів розчинника, які утримуються в потоці.

В другому розділі проводиться моделювання процесів тепломасопереноса потоку вологого теплоносія, який містить у собі розчинений пил харчового продукта на поверхні ТС, досліджуються структура і властивості відкладень пилу в процесі конденсації розчинника на поверхні ТС.

Виходячи з аналізу сил, діючих на елемент забруднення, формулюється умова змиву пилу конденсатом, як $d\bar{P}_G > d\bar{P}_H + d\bar{P}_G + d\bar{P}_A$

В залежності від вологості пильного шару співвідношення сил адгезії $/P_a/$, когезії $/P_k/$ і поверхневого натягу $/P_g/$ змінюється. При низької вологості продукта $P_k > P_a + P_g$, подальше зволоження шару після досягнення першої критичної вологості приводить до $P_a > P_k + P_g$, якщо зволоження від-

Таблиця I

Облад- нання	Характеристика газових викидів							
	Параметри викидів					Втрати за рік		
	$G,$	$t,$	$d,$	$C,$		$Q,$	$m,$	
	кг/с	°C	г/кг	кг/м ³		ГДж	кг	

Цукрове виробництво

ПСА	8,3	70	11,5	0,000276	11200	57600
СБУ-І	18,9	55	11,0	0,000276	23400	125800
СПС-20	5,5	69	10,0	0,000282	7300	39000

Крохмально-паточне виробництво

ПЦС-8М	2,5	140	60,0	0,000560	8860	42500
--------	-----	-----	------	----------	------	-------

Молочно-консервне виробництво

РС-1000	10,0	90	43,0	0,000110	20500	29300
НЕМА	5,8	70	36,0	0,000200	8350	29300
РСМ-500	3,8	90	43,0	0,000140	7800	14200

Харчоконцентратне виробництво

Ниро- Атомай- зер	3,2	105	69,0	0,000055	8200	4560
-------------------------	-----	-----	------	----------	------	------

кладення продовжується і досягнута друга критична вологість, то сили поверхневого натягу превалюють над останніми $P_d > P_a + P_k$ тобто шар стає текучим. На цій основі формулюється трьохзонна модель адгезіонної взаємодії пилу продукта з поверхнею конденсації, яка встановлює залежність товщини шару забруднення від адгезії $P_{огр}$, густини ρ' харчового продукта, швидкості V і густини ρ відпрацьованого теплоносія, поверхневого натягу σ , радіуса ТС R .

Методами теорії подібностей одержано критеріальне рівняння, яке вміщує два параметричних числа Π , K і відомий критерій Вебера:

$$\Pi = A \cdot K^m \cdot We^n \quad /I/$$

В рівнянні /I/ число $\Pi = \rho' g \delta R / \sigma$ вміщує товщину шару забруднення δ , а число $K = P_{огр} R / \sigma$ адгезію харчового продукта $P_{огр}$ в залежності від вологості w .

Практична реалізація пропонуємої моделі пов'язана з можливістю визначення величини δ і констант у співвідношенні /I/. Тому задачею експериментальних досліджень є одержання залежності $P_{огр} = f(w)$ і визначення коефіцієнтів A , m , n .

У третьому розділі подані результати експериментальних досліджень адгезії харчових продуктів в залежності від вологості, кінетики розчинення і змиву шару пилу конденсатом з поверхні ТС. Дослідження проводились на двох експериментальних стендах.

Дослідження адгезії проводились на пристрої типа коромисла. Види досліджуваних продуктів, діапазони параметрів, результати дослідів і їх обробка подані на мал. 1 та у табл. 2.

Результати експериментальних досліджень

Продукт	I зона		II зона		III зона	
	$W, \%$	$P, \text{Па}$	$W_{кр}, \%$	$P_{max}, \text{Па}$	$W, \%$	$P, \text{Па}$
Цукор	0,2-5,4	0-960	9,7	3203	20,4-91	580-36
Кава	4-18,3	0-12000	27,7	6406	53-98	560-36
Крохмаль	20-40	0-375	46,6	560	60-93	80-36
Молоко	6-24,8	0-1441	37,3	4805	53-98	350-36
Вершки	6-34,2	0-456	44,7	3500	74,1-98	600-36

При $W < W_1$ зростання вологовмісту приводить до зміцнення адгезіоно-когезіонних зв'язків /зона консолідації/. Подальше зволоження до W_2 сприяє послабленню цих зв'язків /зона релаксації/ і при $W > W_2$ шар переходить у стан розчину /зона текучості/.

Досліди підтверджують існування трьох адгезіонних зон у різних харчових продуктів та показують можливість побудування адгезіонних моделей по єдиній методиці. Так, для крохмалю:

$$P = 386 - 3360W + 7812W^2, \text{ при } W < 0,4 \quad /2/$$

$$P = 2,83W^{26,65} \exp(107,9W^{3,53} + 32,82) + 69,57, \text{ при } 0,4 < W < 0,6 \quad /3/$$

$$P = (22,33W - 5,50)/(W - 0,50), \text{ при } W > 0,6 \quad /4/$$

для цукору:

$$P = -74 - 4672W + 427770W^2, \text{ при } W < 0,05 \quad /5/$$

$$P = 9,41W^{14,33} \exp(132,80W^{1,07} + 43,21) + 8,55, \text{ при } 0,05 < W < 0,2 \quad /6/$$

$$P = (-1,33W + 28,95)/(W - 0,15), \text{ при } W > 0,2 \quad /7/$$

для кави:

$$P = -190 + 3480W + 21640W^2, \text{ при } W < 0,18 \quad /8/$$

$$P = 8,97W^{19,43} \exp(94,70W^{1,73} + 41,56) + 586, \text{ при } 0,18 < W < 0,53 \quad /9/$$

$$P = (-120,10W + 125,70)/(W - 0,42), \text{ при } W > 0,53 \quad /10/$$

для сухого молока:

$$P = 513 - 11935W + 62350W^2, \text{ при } W < 0,25 \quad /11/$$

$$P = 6,77W^{5,22} \exp(143,9W^{5,03} + 12,67), \text{ при } 0,25 < W < 0,53 \quad /12/$$

$$P = (-104,4W + 124,9)/(W - 0,33), \text{ при } W > 0,53 \quad /13/$$

для сухих молочних вершків:

$$P = -178 + 4476W - 30270W^2, \text{ при } W < 0,34 \quad /14/$$

$$P = 7,59W^{12,05} \exp(35,41W^{1,67} + 29,86) + 2,69, \text{ при } 0,34 < W < 0,74 \quad /15/$$

$$P = (171,8W + 180,4)/(W - 0,64), \text{ при } W > 0,74 \quad /16/$$

Для вивчення кінетики розчинення і змиву шару пилу конденсатом проводились дослідження на експериментальнім стенді, в якому здійснювався рух повітряного потоку, його нагрів, зволоження водяною парою і наступна взаємодія з ТС, на якому спочатку напилявся шар продукту. Гранулометричний склад пилу продукту і гідродинамічні обставини у стенді близькі до реальних умов виробництва. Стенд дозволяв регулювати параметри потоку: швидкість $V = /1...10/$ м/с, вологовміст $d = /5...40/$ г/кг, температуру $t = /20...100/$ °С. Збір одержаної інформації здійснювався автоматизованим комплексом який включав до себе цифровий мікровольтметр Щ-68003, цифродрукуючий пристрій Щ-68000К, таймер Ф 4842 і комутатор Ф 4840.

Кількісно процес розчинення та змиву відкладень з поверхні ТС вивчався побічним методом по зміні термічного опіру процесу конвективної тепловіддачі від повітряного потоку до поверхні ТТ /мал.2/, яке містить термічний опір забруднення, а якісно – візуальним спостереженням.

Досліди показали, що зі збільшенням часу термічний опір конвективної тепловіддачі досягає мінімального і постійного

значення, яке характерно для тепловіддачі "чистої" ТТ. Це свідчить про повне розчинення та виведення пилу з поверхні ТТ.

Встановлено, що процес очищення ТС починався з поверхні, з боку потоку повітря, яка швидше зволожувалась, з деяким запізнюванням затильної частини. Для кави характерно більш інтенсивне протікання процесу конденсації на поверхні ТС, ніж в порах продукта, що приводить до обвалу шару забруднення і значно прискорює процес змиву. У відміні від кави, змив цукрового пилу відбувається як по межі "продукт-ТС", так і шарами "продукт-продукт". Змив крохмалю, який не розчиняється відбувався після утворення рідинної прошарки між ТС і забрудненням. При підсушці отримували крохмаль вищого ступеню вологості, а не водний розчин, як у кави і цукру.

Експериментально встановлено, що процес конденсації з'являється ефективним засобом очищення поверхні ТС від забруднення для досліджуваних продуктів /кава, цукор, крохмаль/. Обробка експериментальних досліджень подана у вигляді $\tau = f(d, V)$ на мал.2 та у зрівняннях /17/ - /20/.

Для кави, при $V = 2 \dots 8$ м/с

$$\tau = (-9,71d + 397,35)/(d - 8,31) \quad /17/$$

для цукру, при $V = 2 \dots 8$ м/с

$$\tau = (16,45d - 214,62)/(d - 17,78) \quad /18/$$

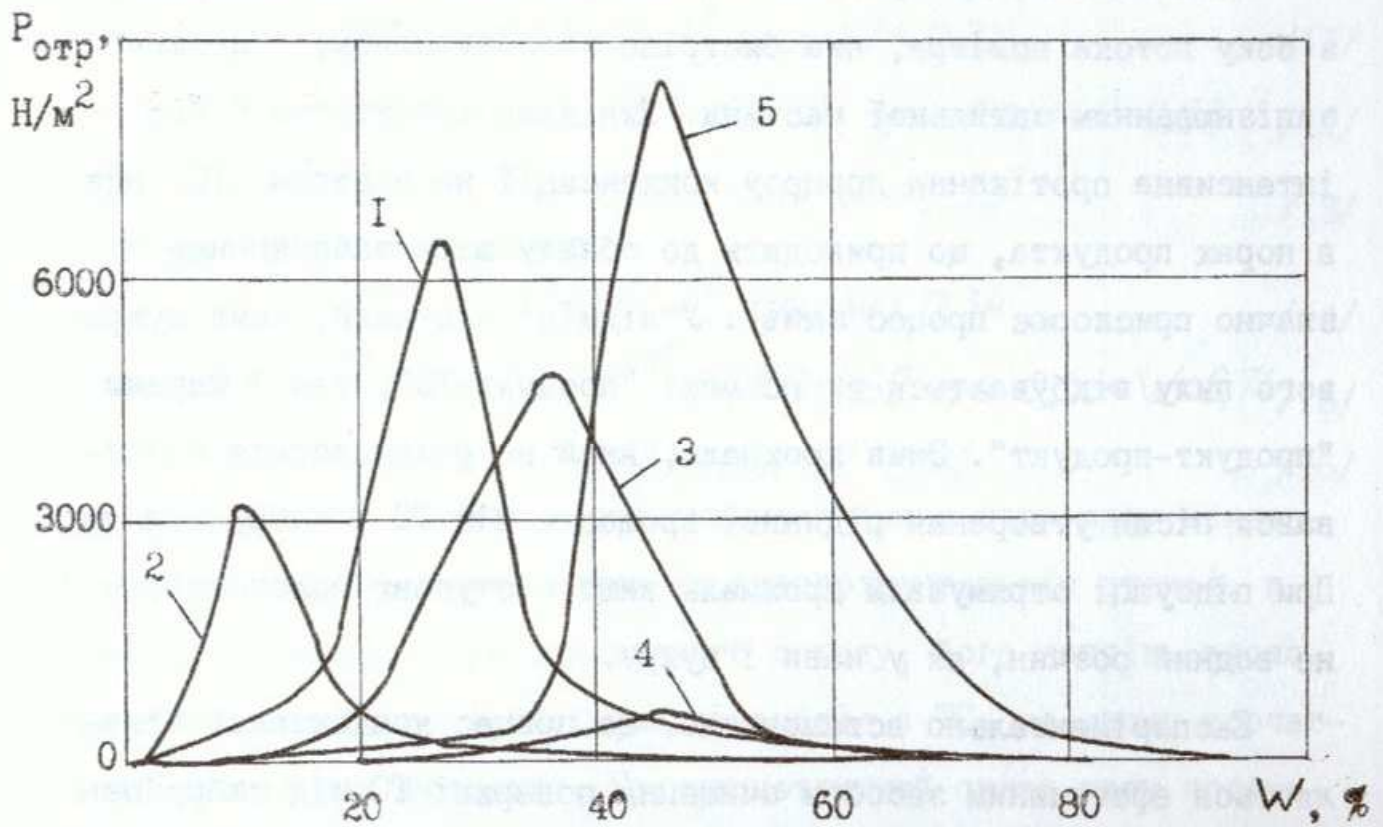
для крохмалю, при $V = 3,9 \dots 5,5$ м/с

$$\tau = (24,62d - 509,98)/(d - 24,4) \quad /19/$$

для крохмалю, при $V = 5,5 \dots 8$ м/с: $\tau = (20,25d - 421,72)/(d - 23,1) \quad /20/$

Обробка результатів досліджень проводились по такій методиці: визначення у i -й момент часу термічного опіру забруднення R_3 , кількості конденсату, який випав на поверхні ТС, поточній вологості продукта, сил адгезії, швидкість потоку, розра-

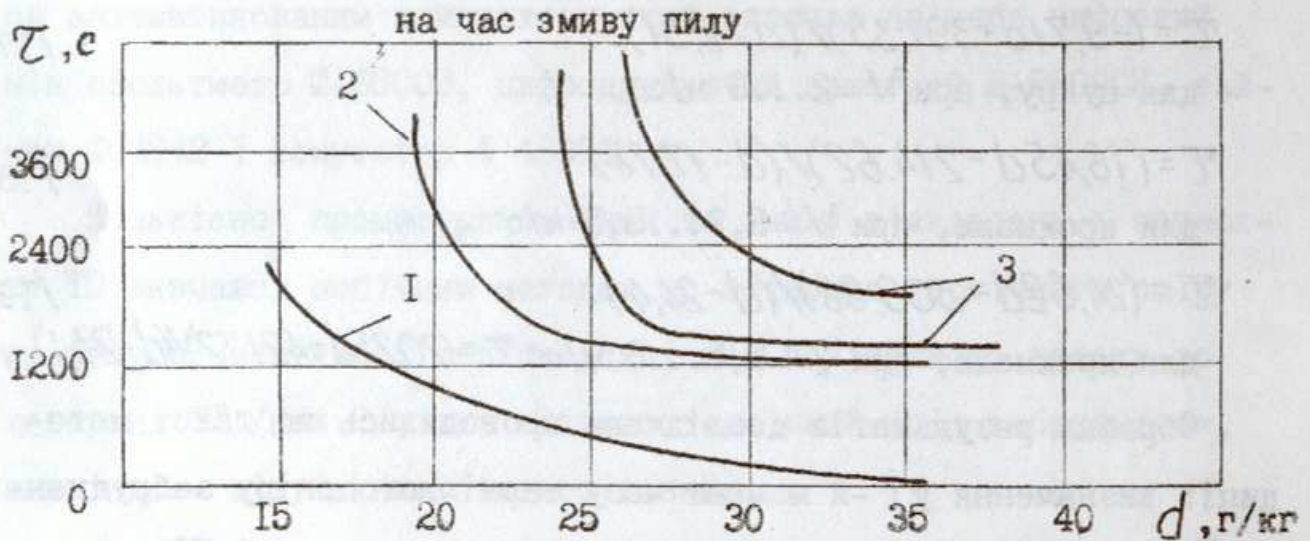
Адгезіоно-когезіонні характеристики харчових продуктів



Мал. I

I - кава; 2- цукор; 3 - молоко; 4 - крохмаль; 5 - сухі вершки.

Вплив швидкості та вологовміста потоку на час змиву пилу



Мал. 2

I- кава; 2- цукор; 3 - крохмаль.

хунок коефіцієнту теплопровідності продукта в залежності від вологості, по літературним даним і по апроксимаціям автора, визначення товщини забруднення. Це дозволило апроксимувати численні значення коефіцієнтів, які входять до критеріального рівняння /1/ для кожного продукта /таб.3/ з використанням пакета програм "Еврика" на ПЕОМ.

Таблиця 3

Продукт	!	A	!	m	!	n
Кава	!	0,0031	!	1,160	!	-0,150
Цукор	!	0,032	!	0,872	!	-0,107
Крохмаль	!	0,0004	!	2,887	!	-0,062

Результати використовуються у розрахунку необхідної кількості конденсата для змива продукта з ТС і розрахунку товщини шару забруднення на поверхні труби, після досягнення другої критичної вологості.

У четвертому розділі обґрунтовуються критерії оптимізації. Подана методика та алгоритм оптимізації СУТП.

При оптимізації використовується метод градієнтного спуска Гаусса-Зейделя. Річний економічний ефект від упровадження СУТП вибран критерієм оптимізації.

$$E = U_n + U_{np} - U_e - 0,15 KB \quad /21/$$

При побудові алгоритма оптимізації враховується, що входними даними з'являються технологічні параметри /витрати, температура, вологовміст і запиленість відпрацьованого теплоносія і подаваного зовнішнього повітря/, геометричні характеристики термосифонів, економічні умови /вартість енергоносіїв, продук-

та, електроенергії, ТС, монтажу СУТП, а також конструктивні параметри /фронтальний S_1 і подовжній S_2 крок між ТС, величина зони випарювання H_B , кількість рядів n і кількість труб в ряду N /. Оптимізації підлягають тільки конструктивні параметри.

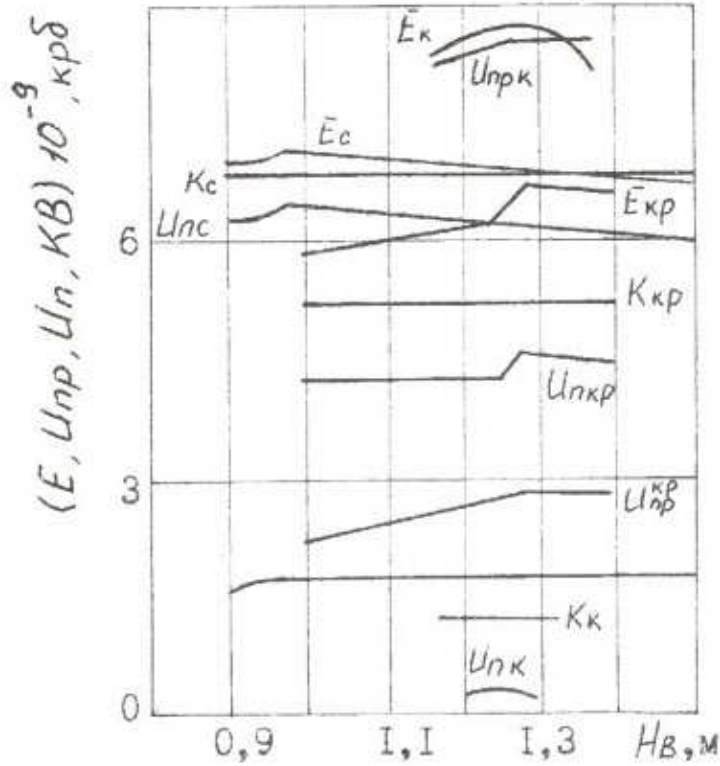
В програмі оптимізації на основі підходів та положень, викладених в роботах Г.Ф.Смірнова, М.К.Безродного, О.Г.Бурдо, ведеться порядний розрахунок полів температур, тиску вологовмісту і концентрацій пилу в апараті, визначається економія палива, продукту і витрати електроенергії на прокачку теплоносія та нагріваного повітря.

Порядок оптимізації може бути записан так: завдання початкових конструктивних параметрів, розрахунок техніко-економічних параметрів СУТП, послідовно оптимізація по кожному з параметрів, фіксація оптимального, перевірка оптимума на глобальність.

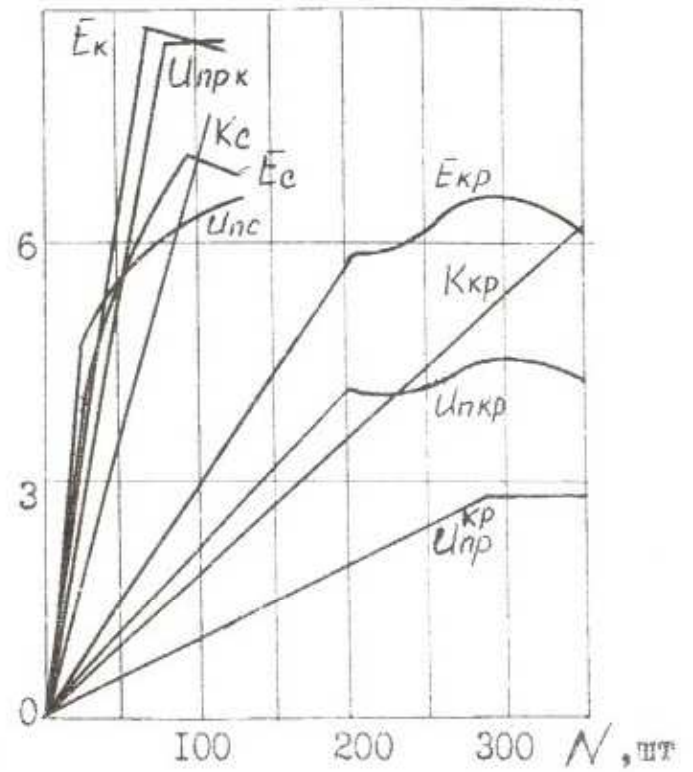
Комп'ютерний експеримент дозволив встановити вплив конструктивних параметрів на функцію мети /мал.3 - 6/. Аналіз експеримента показав, що найбільший вплив на функціонал має n і N . Глобальний оптимум досягається після утилізації усього пилу продукту, які знаходяться у потоці при різних співвідношенні між вартістю утилізуемого продукту, зберігаемого енергоносія, додатково втраченої електроенергії і капіталовложень на виготовлення СУТП.

Процедура розрахунку поля температур в СУТП передбачає визначення термічного опору забруднення від кількості сконденсованої на ТС пари та пилу продукту. По значенню дифузійних чисел Nu' і Pr' знаходили коефіцієнт масообміну β та масу одержаного конденсату V_k для даного ряду ТС.

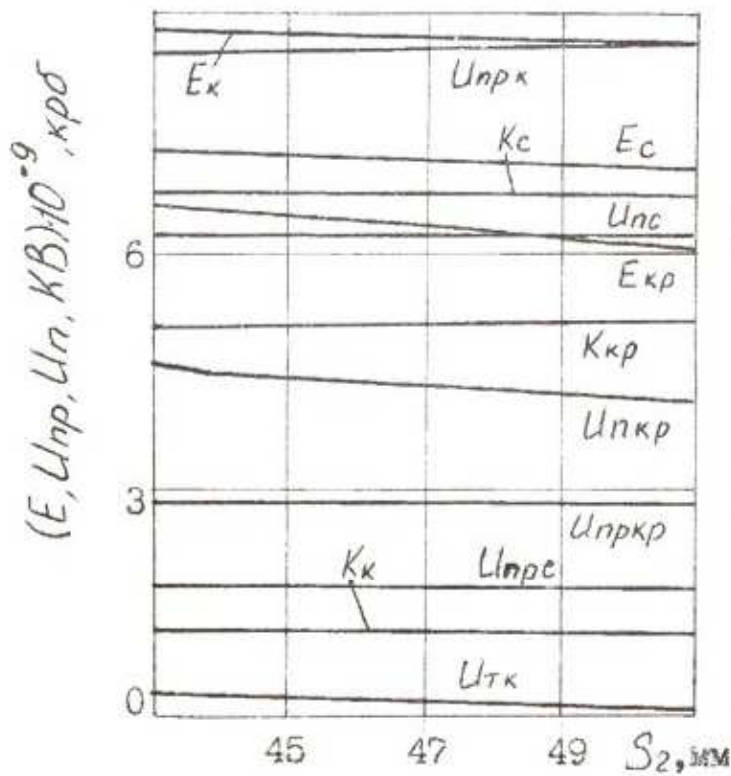
Вплив конструктивних параметрів на
ефективність СУП



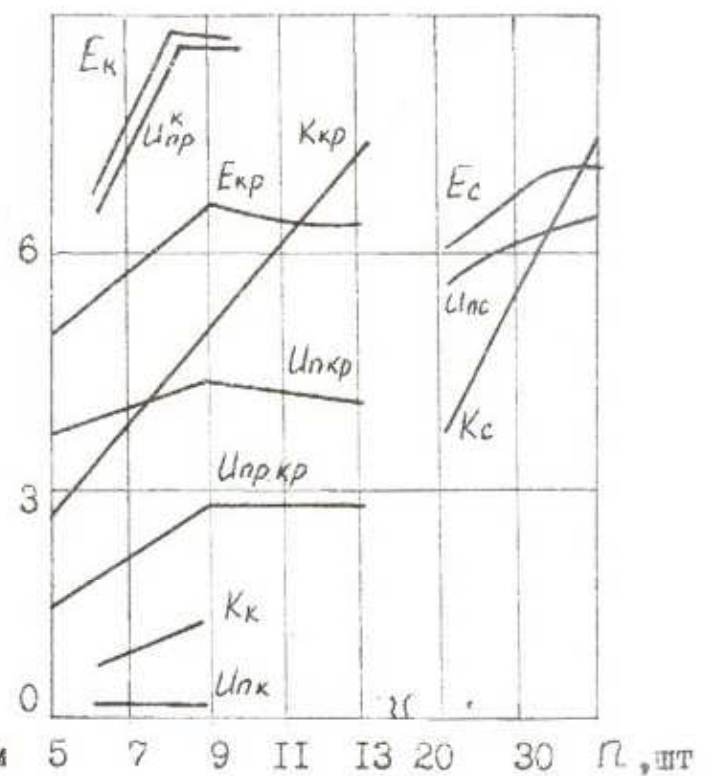
Мал. 3



Мал. 4



Мал. 5



Мал. 6

$$V_{k,i} = \left(\frac{N_{k,i} D}{\delta_0} \right) i \rho_r \tau [F_{p,i} (X_{r,i} - X_{p,i}) + F_{a,i} (X_{r,i} - X_{a,i})] \quad /22/$$

Вологість забруднення:

$$W = V_k / (V_k + \delta F_{tc} \rho_{np}) (100 - W_n) + W_n \quad /23/$$

Коли отримана вологість менш другого критичного значення, тоді

$$R_3 = \delta_3 / \lambda_3 \quad /24/$$

Якщо ні, тоді визначаються параметричне число K і критерій We

Вирішується рівняння /1/. Визначається товщина шару забруднення:

$$\delta_3 = \Pi \delta / (\rho_{np} g R) \quad /25/$$

Звідкіля термічний опір вологого забруднення:

$$R_3 = \delta_3 / \lambda_3 (W) \quad /26/$$

В п'ятому розділі подані програма, методика та результати виробничих випробувань СУТП на ОКХК.

СУТП включає теплообмінник, піддони для збирання екстракту, повітроводи і систему очищення апарата. Теплообмінник зібран з 200 ТС, по 20 в ряду, розтошування труб шахматне, фронтальний і подовжній кроки 0,043 і 0,051 м відповідно.

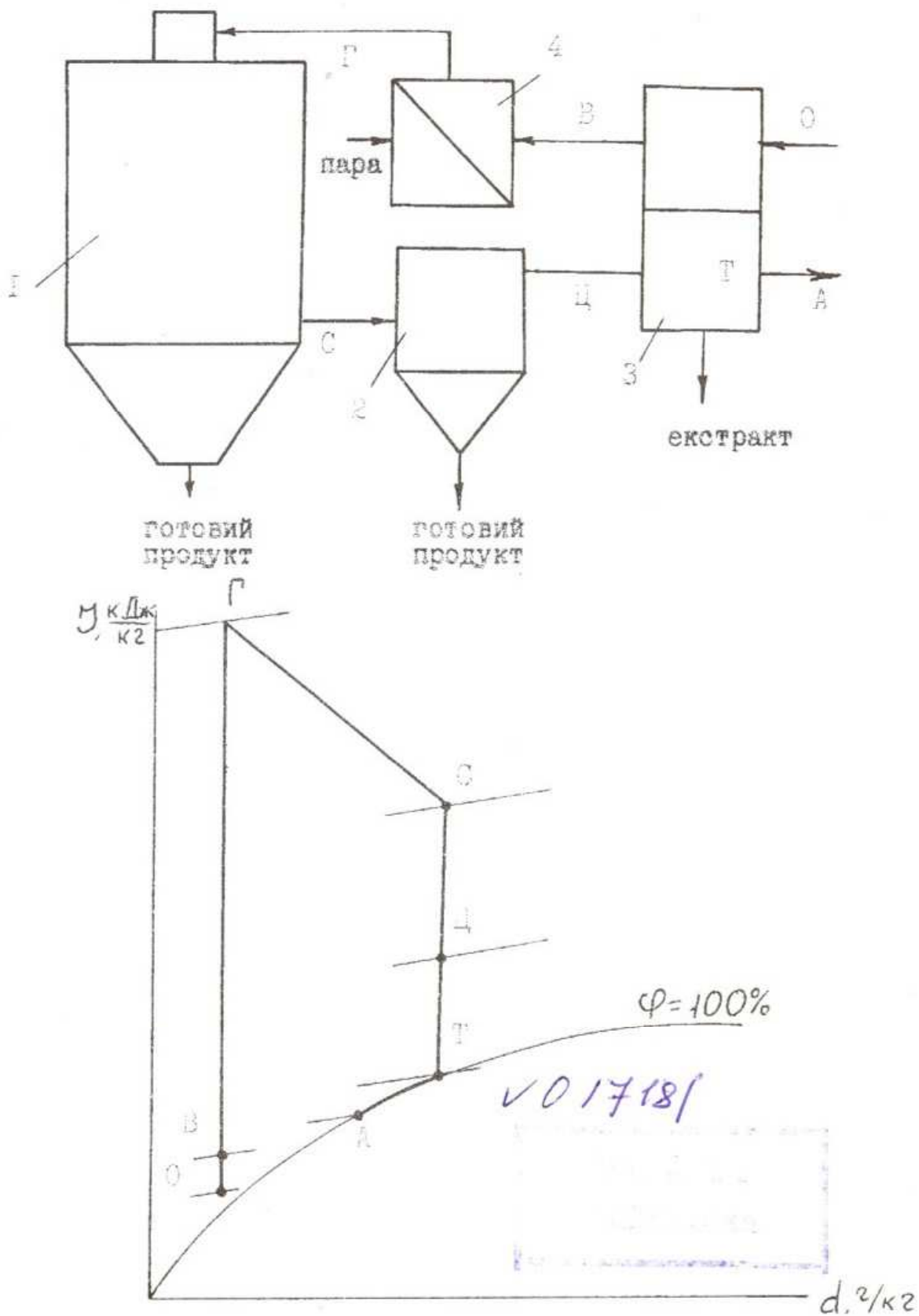
В наслідок виробничих випробувань встановлено вплив швидкості потоку, концентрації пилу на кінетику напilenня на поверхні ТС.

$$\delta' = 4,7 [1 - \exp(-16,2 C V \tau)] \quad /27/$$

Рівняння даних виробничих випробувань з розрахунком показало, що поля температур розраховуються з точністю до 5%, а поля концентрацій пилу до 3% /мал.8/.

Проводились випробування по очищенню ТС від пилу за рахунок конденсації пару. Здобуті результати показують високу ефективність такого очищення /мал.9/.

Схема включання СУТП в лінію виробництва
розчинної кави на ОКХК



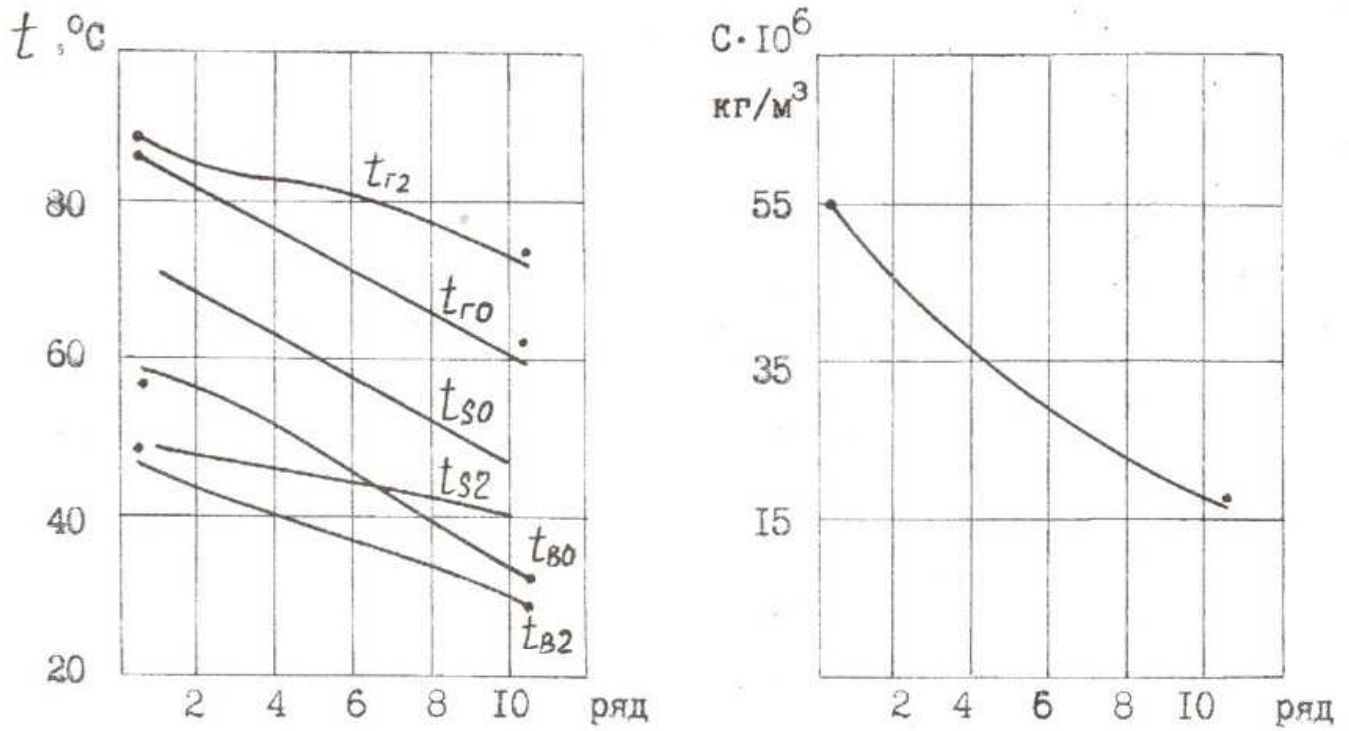
Мал.7. 1 - сушарка; 2 - система пилоочищення; 3 - СУТП;
4 - теплогенератор.

Використовуючи дані аналітичних і експериментальних випробувань СУТП за допомогою програми оптимізації получені конструктивні /таб.4/ і техніко-економічні параметри системи для різних виробництв харчової промисловості, які гарантують утилізацію до 70% теплоти відпрацьованого теплоносія і практично 100% утилізацію пилу продукта. Для розрахунку прийняті ціни на 4 квартал 1994 р.: $Z_n/\text{пара}/ = 2475600 \text{ крб/Гкал}$; $Z_n/\text{газ}/ = 230000 \text{ крб/Гкал}$; $Z_e = 1800 \text{ крб/кВт}\cdot\text{г}$; $Z_{np}/\text{цукор}/ = 30000 \text{ крб/кг}$; $Z_{np}/\text{крохмаль}/ = 30000 \text{ крб/кг}$; $Z_{np}/\text{кава}/ = 2000000 \text{ крб/кг}$; $Z_{np}/\text{сухе молоко}/ = 50000 \text{ крб/кг}$; $Z_{тт} = 1663000 \text{ крб/шт.}$

Таблиця 4

Обладнання	$N,$	$n,$	$S_1,$	$S_2,$	$H_B,$	економія за рік	
	шт.	шт.	мм	мм	м	$Q_y, \text{ГДж}$	$m_y, \text{кг}$
ПСА	98	35	43	43	0,98	10845	57600
СБУ-І	1642	9	43	43	0,98	18090	125300
СПС-20	551	8	43	43	1,02	6955	39000
РС-1000	755	7	43	43	0,86	16953	29300
Нема	246	11	43	43	1,00	6993	29300
РСМ-500	236	7	43	43	0,86	6443	14200
ПДС-8М	283	9	43	43	1,24	7592	42500
Ниро-Атомайзер	71	8	43	43	1,24	4542	4560

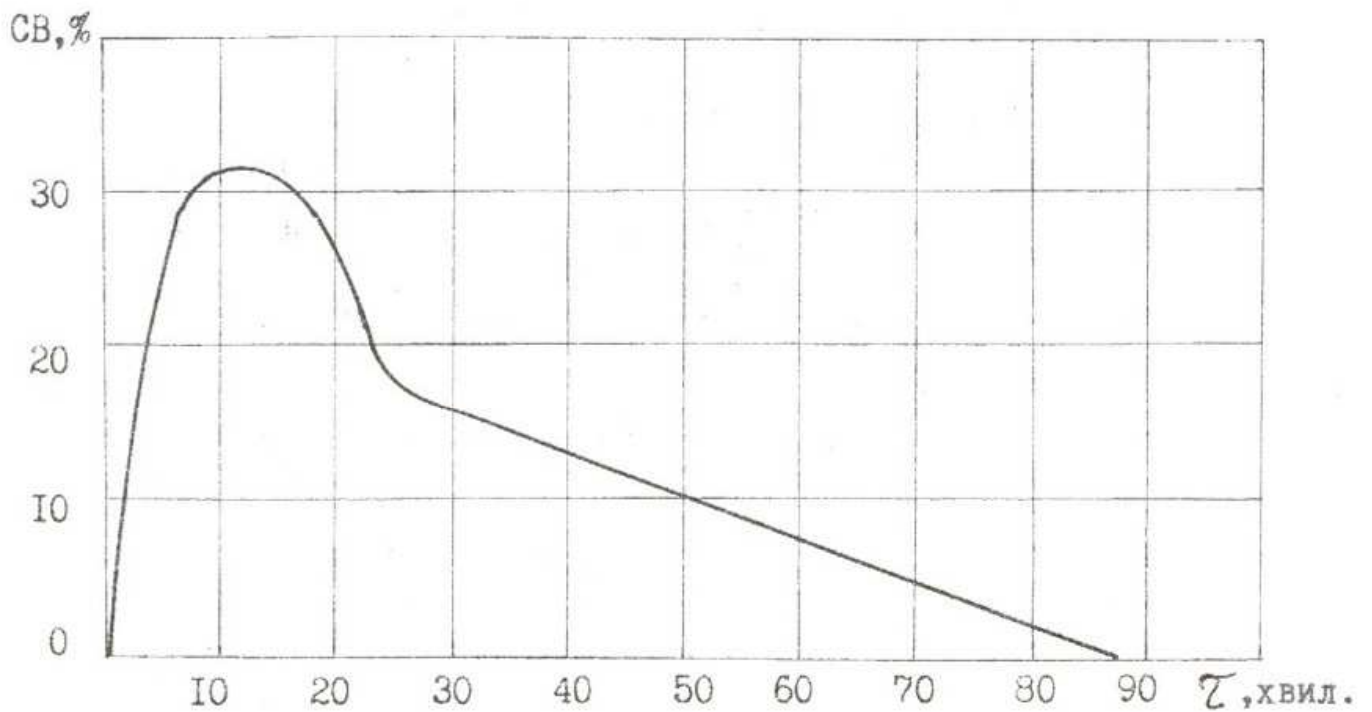
Схема включання СУТП в лінію виробництва розчинної кави на ОКХК і процесів, протікаючих в неї, показано на мал.7.



Мал.8. Поля температур та концентрацій пилу в СУТП

0 - на початку роботи; 2 - через дві доби роботи СУТП;

• - експеримент; — - розрахунок.



Мал. 9. Змінювання концентрації екстракту в процесі змиву

В И С Н О В К И

1. Запропонована гіпотеза про існування трьох зон взаємодії шару відкладень з поверхнею конденсації справедлива при моделюванні процесів сполученого тепломасопереноса.

2. Процес очищення теплопередаючих поверхней може бути після досягнення другого критичного вологовмісту продукту /зона течучості/ /табл.2/.

3. Кінетика процесів розчинення і змиву кави, цукру з поверхні ТС визначається вологовмістом потоку, а для крохмалю і швидкістю потоку /мал.2/, рівняння /17/ - /20/.

4. Вплив вологості на адгезіоно-когезіонні властивості продуктів можливо урахувати за допомогою часткових залежностей /2-16/ /мал. 1/.

5. Товщина шару забруднення в умовах сполучено протікаючих процесів переносу пилу і конденсації парів розчинника визначається критеріальним рівнянням /1/.

6. Методика оптимізації СУТП, яка використовує одержані співвідношення /23/, /25/ - /27/ і реалізується у вигляді стандартної програми на ПОВМ, забезпечує точність розрахунку температурних полів в апараті у межах 5%, полів концентрацій пилу до 3% /мал.8,9/.

7. Оптимізовані варіанти СУТП утилізують до 70% теплоти і до 98% пилу з відпрацьованого теплоносія /табл.4/.

8. Результати виробничих випробувань системи на ОКХК підтверджують коректність наукових положень і розроблених методів проектування і дають можливість рекомендувати СУТП до упровадження у різних галузях АПК. Сроку окупності СУТП от 1 до 36 місяців.

ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЇ ОПУБЛІКОВАНО В РОБОТАХ:

1. Бурдо О.Г., Терзиев С.Г., Перетяка С.Н. Утилизация низкопотенциальной теплоты на предприятиях агропромышленной сферы //тез.докл.2 Межд.конф. "Проблемы экологии и ресурсосбережения для агропромышленных комплексов" - Одесса, 1992.

2. Доманский Р.А., Терзиев С.Г., Перетяка С.Н. Теплообмен влажного воздуха с оребренной поверхностью трубы. //Тез.докл. 53 Науч.конф. ОТИПП им. М.В.Ломоносова /20-23 апреля 1993 г./ - Одесса, 1993, с. 219.

3. Бурдо О.Г., Перетяка С.Н. Расчет полей температур, концентраций пыли и влаги в аппарате с тепловыми трубами. //Тез. докл. 53 Науч. конф. ОТИПП им. М.В.Ломоносова /20-23 апреля 1993 г./ - Одесса, 1993, с. 221.

4. Соломыкин В.А., Терзиев С.Г., Перетяка С.Н. Испытание утилизатора тепла на тепловых трубах на Одесском сахаро-рафинадном заводе. //Тез. докл. 53 Науч. конф. ОТИПП им. М.В.Ломоносова /20-23 апреля 1993 г./ - Одесса, 1993, с. 222.

5. 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.

6. Перетяка С.Н. Оптимизация теплообменника на тепловых трубах. //Тез. докл. 54 Науч. конф. ОТИПП им. М.В.Ломоносова. /19-24 апреля 1994 г./ - Одесса, 1994. -ч. 2 -с. 58.

7. Соломыкин В.А., Перетяка С.Н., Малашевич С.А. Система утилизации теплоты на Одесском комбинате пищевых концентратов. /Тез. докл. 54 Науч. конф. ОТИПП им.М.В.Ломоносова. /19-24

апреля 1994 г./ – Одесса, 1994. –ч. 2. с. 59.

8. Бурдо О.Г., Терзієв С.Г., Перетяка С.М. Ефективність термосифонного утилізатора в теплотехнологіях харчових виробництв. //Харчова та переробна промисловість. –1994.–№3.–с.25-27.

9. Терзієв С.Г., Перетяка С.М., Гамолич В.Я., Бурдо О.Г. Кінетика осадження і розчинення пилу харчового продукту на поверхні утилізатора. –Наукові праці ОДАХТ.–Одеса, 1994.–вип.15.–с.174-178.

10. Заява на патент України №11334. Засіб утилізації тепла, розчинника та пилу продукту при сушінні харчових рідин.// О.Г.Бурдо, С.Г.Терзієв, С.М.Перетяка та і. Приоритет від 16.03.1993.

11. Перетяка С.Н. Экспериментальные исследования влияния влажности продукта на его адгезионно-кагезионные свойства.// Тез.докл.55 Науч.конф. ОГАПТ.–Одесса, 1995.–ч. I.–с.238.

12. Перетяка С.Н. Кинетика растворения пыли пищевых продуктов с поверхности с оребренной тепловой трубы.//Тез.докл.55 Науч.конф.ОГАПТ.–Одесса, 1995.–ч. I.–с.247.

13 Гамолич В.Я., Перетяка С.Н., Терзієв С.Г. Трехзонная модель адгезионного взаимодействия пыли продукта с поверхностью конденсации. //Тез.докл.55 Науч.конф. ОГАПТ.–Одесса, 1995.–ч. I.–с.237.

14. Перспективи використання двухфазних теплопередаючих систем в енергосберігаючих термотехнологіях харчових виробництв / О.Г.Бурдо, С.М.Перетяка, С.Г.Терзієв, О.І.Книш //Тез.докл.Міжн. наук. –техн.конф."Розробка та впровадження нових технологій і обладнання у харчову та переробні галузі".Київ, 1993,с.205-206.

15. Burdo O.G., Terziev S.G., Peretyaka S.N. *Energy-Saving Food Technologies on Heat Pipe Exchanger Basis. // IX Int. Heat Pipe Conf. - Albuquerque, New Mexico (USA), 1995. E-07-08*

УМОСНІ ВИЗНАЧЕННЯ

G - масові витрати; t - температура; d, χ - вологовміст;
 C - концентрація пилу в потоці; Q - кількість теплоти;
 m - маса; P - сила; σ - поверхневий натяг; δ - товщина;
 ρ - густина; R - радіус; W - вологість продукту; τ - час;
 V - швидкість; R - термічний опір; U - витрати виробництва; KB - капіталоукладення; S - крок між ТС; H_B - величина зони випаровування ТС; n - кількість рядів; N - кількість труб в ряду; β - коефіцієнт масообміну; V_k - маса конденсата; E - річний економічний ефект; Z - вартість;
 CB - концентрація екстракту; λ - коефіцієнт теплопровідності.

Індекси: a - адгезійний; k - когезійний; G - сила важкості; n - динамічний тиск; k - конденсат; σ - поверхневий натяг; $отр$ - натуга відриву; $з$ - забруднення; $п$ - паливо; $пр$ - продукт; $н$ - початковий; $е$ - електроенергія; $у$ - утилізуємий; $г$ - гарячий; S - насичення; $в$ - повітря; $с$ - цукор-рафінад; $к$ - розчиненна кава; $кр$ - картопляний крохмаль; $м$ - сухе суцільне молоко; $в$ - сухі молочні вершки.

Скорочення: ТС - термосифон; СУТП - система утилізації теплоти і пилу продукту; ОКХК - Одеський комбінат харчових концентратів; ТТ - теплова труба.

Перетяка С. Н. Совершенствование термотехнологий сушки пищевых продуктов на основе автономных испарительно-конденсационных модулей.

Диссертация (рукопись) на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.18.12 – процессы и аппараты пищевых производств, Одесская академия пищевых технологий, Одесса, 1995.

Работа содержит аналитические и экспериментальные исследования процессов тепломассопереноса, протекающих в системе утилизации теплоты и пыли (СУТП) продукта на автономных испарительно-конденсационных модулях. Установлено, что скорость процессов растворения и смыва кофе, сахара с поверхности ТС определяется влагосодержанием потока, а для крахмала и скоростью потока.

Peretyaka S. N. Perfection Thermotechnology of Drying Food Products on the Basis of Autonomous Evaporate - Condense Moduluses, Odessa State Academy of Food Technology, Odessa, 1995

The thesis for Master of technical Sciences, speciality 05.18.12- processes and apparatus of food industry. Odessa State Academy of Food Technology, Odessa, 1995.

The work contains analitical and experimental research processes of heat mass transfer proceeding in the system of heat and dust utilization (SHDU) on the autonomous evaporate condense moduluses. It is established that the speed of solution and washing processes (of coffee and sugar) from the surface of heat pipe is determined with the moisture - content stream, but for starch it is determined with the atream speed.

Ключові слова:

тепломасоперенос, утилізація, термосифон.