

Міністерство освіти і науки України
Одеський національний технологічний університет

Факультет низькотемпературної техніки та інженерної механіки
Кафедра процесів, обладнання та енергетичного менеджменту
Ступінь вищої освіти: «Магістр»
Спеціальність: 133 Галузеве машинобудування
Освітня програма: Системний інжиніринг промислових виробництв



ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

на тему Розробка термосифонного утилізатора в лінії виробництва розчинної

кави

(назва кваліфікаційної роботи згідно наказу ОНТУ)

Здобувача: Гангало Я.В.
(прізвище, ініціали)
Курсу II групи СІ-20МН

Керівник: доцент Терзієв С.Г.
(посада, прізвище та ініціали)

Консультант: доцент Всеволодов О.М.
(посада, прізвище та ініціали)

Кваліфікаційна робота допускається до захисту

Рішення кафедри ПОЕМ від « ___ » _____ 2024 р., протокол № ___

Завідувач кафедри ПОЕМ _____ Олег БУРДО
(назва кафедри) (підпис) (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Одеса – 2024 рік

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет: Низькотемпературної техніки та інженерної механіки

Кафедра: Процесів, обладнання та енергетичного менеджменту

Ступінь вищої освіти: магістр

Спеціальність: 133 «Галузеве машинобудування»

Освітня програма: «Системний інжиніринг промислових виробництв»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри ПОЕМ

_____ Олег БУРДО

«___» _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Гангало Яна Валерійовича

1. Тема роботи: «Розробка термосифонного утилізатора в лінії виробництва розчинної кави»

Затверджена наказом ОНТУ від 25.10.2022 р. наказ № 749-03

2. Термін здачі здобувачем закінченої роботи: 27.05.2024 р.

3. Вихідні дані роботи: витрати холодного потоку $V_v = 3 \text{ м}^3/\text{с}$, температури на вході, відповідно, $t_{\Gamma} = 108^{\circ}\text{C}$. $t_{\chi} = 22^{\circ}\text{C}$, температури на виході, відповідно, $t_{\Gamma}' = 70^{\circ}\text{C}$. $t_{\text{е}}' = 60^{\circ}\text{C}$.

4. перелік питань, які потрібно розробити:

Вступ, реферат, опис технологічного процесу, аналітичне та експериментальне моделювання процесу, необхідні види розрахунків, охорона праці.

5. Перелік графічного матеріалу:

- Машинно-апаратурна схема лінії (А1),
- Схема термосифонного утилізатора та результати експериментальних досліджень (А1).

6. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи, що стосуються їх.

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці	Всеволодов О.М.		

7. Дата видачі завдання: 15.02.2024 р.

Керівник: доц. Терзієв С.Г.

Завдання прийняв до виконання: Гангало Я.В.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Реферат, вступ	18.02.24р	
2.	Аналіз ринку розчинної кави	25.02.24р.	
3.	Аналіз технологічної лінії виробництва розчинної кави	14.03.24р.	
4.	Енергетичний та екологічний моніторинг процесу конвективного сушіння. Аналіз теплоутилізаційних термосифонних рекуператорів	14.04.24р.	
5.	Аналітичне та експериментальне моделювання процесів тепломасоперенесення у термосифонному утилізаторі	25.04.24р.	
6.	Експериментальні дослідження міжфазного масоперенесення	01.05.24р.	
7.	Охорона праці	14.05.24р	
8.	Оформлення РПЗ	24.05.24р.	
9.	Отримання рецензії	до 30.05.24р.	

Здобувач-дипломник

Гангало Я.В.

Керівник роботи:

Терзієв С.Г.

Несу відповідальність за ідентичність електронного та друкованого варіантів кваліфікаційної роботи, даю згоду на обробку персональних даних та не заперечую проти розміщення кваліфікаційної роботи на офіційних web-ресурсах ОНТУ.

Підтверджую, що в кваліфікаційній роботі відсутні порушення норм академічної доброчесності.

Здобувач-дипломник: Гангало Я.В.

ЗМІСТ

Анотація	4
Вступ.....	5
1. Аналіз світового ринку розчинної кави.....	6
2. Аналіз технологічної лінії виробництва розчинної кави	10
2.1. Характеристика сировини та продукції.....	10
2.2. Опис комплексу обладнання та принцип роботи лінії.....	11
3. Енергетичний та екологічний моніторинг процесу конвективного сушіння.....	15
4. Тепловий потенціал і запылення відпрацьованого сушильного агенту	18
5. Класифікація теплоутилізаційних термосифонних рекуператорів за експлуатаційними ознаками.....	20
6. Система комплексної утилізації теплоти та пилу харчового продукту	23
7. Аналітичне та експериментальне моделювання процесів тепломасоперенесення у термосифонному утилізаторі.....	24
7.1. Загальні завдання моделювання.....	24
7.2. Методи математичного моделювання	25
7.3. Застосування методу аналізу розмірностей	30
8. Експериментальні дослідження міжфазного масоперенесення	38
9. Економічна частина	61
10. Техніка безпеки при обслуговуванні і ремонті тепловикористальних установок і обладнання.....	65
Висновки	70
Список літератури.....	71

					КРМ.ПОтаЕМ.-1.749-03.3.4				
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>					
<i>Розробив</i>		Гангало Я.В.			<i>Літ.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>		
<i>Перевірив</i>		Терзієв С.Г.				3	75		
<i>Рецензія</i>					Термосифонний утилізатор				
<i>Зав. Каф.</i>		Бурдо О.Г.						ОНТУ	
<i>Затвердив</i>									

АНОТАЦІЯ

Дана робота присвячена розробці термосифонного утилізатора в лінії виробництва розчинної кави з метою підвищення ресурсо- та енергоефективності процесу. Сучасні харчоконцентратні виробництва активно експлуатують розпилювальні сушарки, теплові втрати яких досягають неймовірних значень. Окрім того, разом з відпрацьованим теплоносієм до атмосфери виноситься значна кількість готового продукту у вигляді дрібнодисперсного пилу, що також негативно впливає як на ресурсоефективність процесу, так і на навколишнє середовище. В результаті цього пропонується використання термосифонного утилізатора, який виконуватиме роль і рекуператора теплової енергії, і уловлювача пилу продукту з метою його подальшого направлення до споживача.

Мета роботи – Розробка термосифонного утилізатора для підвищення ресурсо- та енергоефективності процесу виробництва розчинної кави.

Об'єкт досліджень – термосифонний утилізатор в лінії виробництва розчинної кави.

Предмет досліджень – механізм, кінетика та енергетика процесів утилізації теплоти та міжфазного масоперенесення.

Методи досліджень – методи аналітичного моделювання, методи теорії подібності, методи експериментального моделювання.

Ключові слова: *термосифонний утилізатор, теплова труба, тепломасоперенесення, розчинна кави.*

					КРМ.ПОтаЕМ-1.749-03.3.4	Арк.
						4
Змн.	Арк.ш	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Промислове виробництво харчових концентратів (ХК) розпочалося напередодні першої світової війни. На території нашої країни підприємства, що випускають ХК, з'явилися у 1936 р. Специфіка продукції, її орієнтація на потреби армії та флоту визначили вимоги до ХК: швидкість приготування, тривалі терміни зберігання та високу якість. Саме ці якості ХК привертають інтерес широкого кола споживачів, і зараз більшість жителів планети все частіше звертаються до продуктів харчоконцентратної галузі. Швидко розширюється асортимент ХК та його ринки.

Найбільш затребуваним продуктом ХК у світі став порошок розчинної кави. Чисельність працівників кавової промисловості планети досягло 25 млн. людина. В останні роки в Україні стрімко зростають продажі розчинної кави. Конкурувати з провідними виробниками кавопродуктів українським підприємствам складно: дорога імпортна сировина, яка виросла до світового рівня ціни на енергоносії.

Традиційні технології ключових операцій виробництва – екстрагування та сушіння – відрізняються високою енергоємністю [1, 2]. Оскільки впливати на вартість сировини українські виробники кавопродуктів не можуть, тобто два конкурентні напрямки. Перше – це інноваційні технології, спрямовані на вдосконалення процесів сушіння та екстрагування. Друге – інноваційні технології глибокої переробки сировини, переведення виробництва на принципи екоіндустрії [3]. Перший етап роботи – це енергетичні дослідження, визначення теплових балансів, розрахунок потоків енергії.

					КРМ.ПОтаЕМ-1.749-03.3.4	Арк.
						5
Змн.	Арк.ш	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Аналіз світового ринку розчинної кави.

Аналіз світового ринку розчинної кави сегментований за смаком (ароматизована і неароматизована розчинна кава), типу упаковки (саше, пакети та банки), технології виробництва (ліофілізована розчинна кава і розчинна кава, висушена розпиленням), каналу збуту (супермаркети). /Гіпермаркети, цілодобові магазини, спеціалізовані магазини роздрібною торгівлі, інтернет-канали та інші канали збуту) та географія (Північна Америка, Європа, Азіатсько-Тихоокеанський регіон, Південна Америка, Близький Схід та Африка) [4].

Прогнозується, що середньорічний темп зростання ринку розчинної кави становитиме 5,28% протягом наступних п'яти років. Населення середнього класу в країнах, що розвиваються, має величезний попит на каву, що споживається вдома. Зручність харчових звичок і, зокрема, споживання кави тяжіє споживачів до розчинної кави. Універсальність продукту, що відповідає різним споживчим смакам та перевагам, а також його адаптованість до поширення через широкий спектр каналів збуту для полегшення домашнього споживання підтримують зростання ринку. Великі гравці, такі як Nestle, Starbucks та Unilever, випускають кавомашини, щоб зробити каву вдома ще смачнішою. Наприклад, у листопаді 2022 року Nescafe Dolce Gusto запустила undefinedNeo, кавомашини та капсули нового покоління бренду. Кавові капсули виготовлені на паперовій основі та біорозкладні.

Кава використовується для багатьох повсякденних цілей, таких як підвищення рівня енергії, забезпечення необхідними поживними речовинами, збільшення різноманітності мікробіома, допомога у скороченні жиру та багато іншого. Деякі люди звикли до кави, і їм потрібна кава, щоб не заснути на роботі. Через напружену робочу атмосферу машини для приготування розчинної кави також доступні в офісах, лікарнях та коледжах. Через тенденцію до їжі, яку можна брати із собою, споживачі вважають за

					КРМ.ПОтаЕМ-1.749-03.3.4	Арк.
						6
Змн.	Арк.ш	№ докум.	Підпис	Дата		

краще, щоб кава була легко носити із собою. Ось чому великі гравці впроваджують екологічні та якісні контейнери для кави.

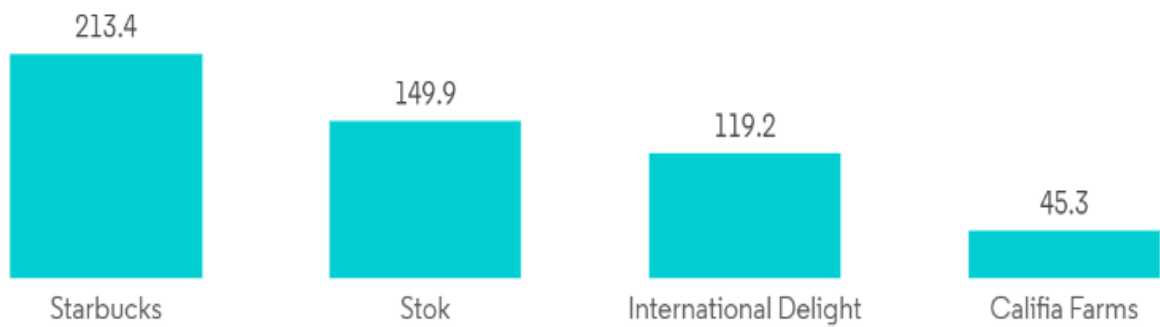
Компанії просувають ініціативи захисту навколишнього середовища, використовуючи екологічно чисті пакувальні матеріали. Наприклад, у вересні 2021 року бренд кави Blue Bottle, бренд Nestle, оголосив про свій намір досягти вуглецевої нейтральності до 2024 року. Це включає скорочення викидів парникових газів за рахунок продуктів і упаковки. Таким чином, очікується, що ринок зростатиме в довгостроковій перспективі через тенденцію до продажу продуктів харчування на ходу, високих продажів електронної комерції та вимог до зручності людей.

Тенденції ринку розчинної кави.

Підвищена увага до унікальних, автентичних смаків та різних функціональних властивостей кави сприяло преміалізації ринку розчинної кави. Багатонаціональні гравці та місцеві крафтові бренди приділяють більше уваги розробці автентичних уподобань розчинної кави. Компанії все частіше використовують уподобання, що відповідають місцевим смаковим уподобанням. У Сполучених Штатах існує стійкий попит на ароматизовану каву. З погляду поставок компанії все більше уваги приділяють закупівлі інгредієнтів для кави, щоб допомогти споживачам приготувати напій, який їм підходить (рис. 1.1).

Таким чином, очікується, що ароматизована кава набуде популярності на ринку протягом прогнозованого періоду. Компанії розширюють свої портфелі шляхом злиття та поглинання з іншими світовими брендами для впровадження інновацій та вивчення нових категорій продуктів. Найбільші гравці запускають продукцію у нових регіонах та містах. Наприклад, у липні 2021 року Nestle та Starbucks оголосили про запуск кавових напоїв RTD у Південно-Східній Азії, Океанії та Латинській Америці.

					КРМ.ПОтаЕМ-1.749-03.3.4	Арк.
						7
Змн.	Арк.ш	№ докум.	Підпис	Дата		



Джерело: Beverage Industry Magazine



Рис. 1.1 Ринок розчинної кави: частка ринку провідних брендів готової до вживання кави за обсягом продажів, США, 2021 рік.

Азіатсько-Тихоокеанський регіон налаштований на стійке зростання ринку протягом прогнозованого періоду. Багато країн Азіатсько-Тихоокеанського регіону є традиційними споживачами чаю. Однак зростання проникнення розчинної кави на такі ринки, як Індія, збільшило загальний обсяг продажів цієї категорії кави. Крім того, кава стала частиною культури материкового Китаю. Китай надає великі можливості великим роздрібним продавцям розчинної кави, оскільки в країні спостерігається зсув у перевагах, посилюючись на моделі споживання мільйонів. Японія є п'ятим за величиною імпортером кави та кавових продуктів.

За даними Міжнародної організації кави, у 2020-2021 роках Японія імпортувала 6751 мішок (у тисячах мішків по 60 кг) зелених кавових зерен. Як і імпорт, у 2021 році Японія спожила 7479 мішків (у тисячах мішків по 60 кг). Кава популярна і серед австралійців. Споживачі в країні мають різні переваги щодо кави, яку вони споживають. Компанії розширюють свою присутність на ринку, випускаючи нові та інноваційні продукти, щоб посилити свою регіональну присутність.

					КРМ.ПОтаЕМ-1.749-03.3.4	Арк.
Змн.	Арк.ш	№ докум.	Підпис	Дата		8



Джерело: Modor Intelligence



Рис. 1.2 – Розмір ринку за глобальною географією у 2021 році, %.

Огляд індустрії розчинної кави.

Ринок розчинної кави консолідований, і провідні міжнародні гравці мають значну частку світового ринку. Nestle SA – один з лідерів ринку розчинної кави зі своїм брендом Nescafe. У багатьох регіонах світу решта брендів разом узятих займає значну частку ринку, рівну або трохи меншу, ніж у Nescafe. Ключові гравці на ринку розчинної кави включають Nestle SA, Starbucks Corporation, Kraft Foods Inc., Tata Consumer Products Ltd та Unilever PLC (рис. 1.3).



Рис. 1.3 – Лідери ринку розчинної кави.

					КРМ.ПОтаЕМ-1.749-03.3.4	Арк.
Змн.	Арк.ш	№ докум.	Підпис	Дата		9

Ці компанії активно інвестують у онлайн-канали розповсюдження, орієнтуючись на споживачів, які шукають зручність. Таким чином, ключові гравці приступають до формування стратегічного партнерства з онлайн-порталами, оскільки однією з ключових стратегій є досягнення консолідації та задоволення потреб споживачів різних демографічних груп.

2. Аналіз технологічної лінії виробництва розчинної кави.

2.1. Характеристика сировини та продукції.

Основною сировиною для виробництва кави є в основному два види, що набули найбільшого поширення: Аравійська (C. Arabica) та Робуста (Cannephora). Вони являють собою середні зерна за розміром, неоднорідні за величиною і забарвленням, трохи подовжені і злегка здуті, плоскої і округлої форми. Їх колір може бути різний: від світло-жовтого із зеленуватим відтінком до синювато-зеленого із сірим відтінком.

Крім кави для приготування кавових напоїв використовують такі види сировини: цикорій сушений, ячмінь продовольчий та кормовий, жито продовольче, овес продовольчий та кормовий, соя, жолуді дубові сушені та каштани, горіхи арахіс, букові та кедрові, шипшина, ванілін, кори груші сушені та ін.

Кавопродукти ділять на чотири основні групи: кава натуральна смажена, кава натуральна розчинна, кавові напої нерозчинні, кавові напої розчинні.

Кава смажена є продуктом, отриманим обсмажуванням кавових зерен. Така обсмажування перед застосуванням кави в їжу виправдовує себе, тому що у свіжосмаженій каві повніше виражений аромат. Аромат кави обумовлений комплексом ефірних олій та інших летких сполук, що утворюються під час обсмажування.

Розчинна кава є продуктом, отриманим з кавових зерен в результаті їх обсмажування, дроблення, екстрагування водою і сушіння отриманого екстракту.

					КРМ.ПОтаЕМ-1.749-03.3.4	Арк.
						10
Змн.	Арк.ш	№ докум.	Підпис	Дата		

Каву натуральну смажену і розчинну отримують за безперервною потоковою технологічною схемою. Однією з найважливіших технологічних операцій під час виробництва смаженої натуральної кави є обсмажування, від режиму проведення якої залежать якісні показники готової продукції, що є результатом біохімічних, фізичних та колоїдно-хімічних змін.

2.2. Опис комплексу обладнання та принцип роботи лінії.

Важливими технологічними операціями при виробництві розчинної натуральної кави є екстракція та сушіння екстракту, від режиму проведення яких залежать якісні показники готової продукції.

Виробництво розчинної натуральної кави складається з наступних основних операцій:

- прийом та сепарація сировини;
- обсмажування;
- грануляція обсмаженої кави;
- екстракція;
- сушіння екстракту;
- пакування та маркування.

Пристрій та принцип дії лінії.

Кожна партія сирих зерен кави зважується на автоматичних вагах порціями по 20 кг і пневмотранспортером 1 низького тиску подається в вібраційний сепаратор 2, що відокремлює сторонні домішки шляхом аспірації, просіювання та пропусканням через магніти, при цьому каву обробляють окремо за видами та сортами (рис. 1.4). Потім зерна пневмотранспортером 3 високого тиску через циклон-розвантажувач 4 направляють у чотири- і шести-секційний бункер 5 для зберігання різних видів та сортів кави. Звідти зерна кави надходять на ваги 6, які можуть відважувати каву, що надходить з різних секцій бункера, і далі в обжарювальний барабан 7.

					КРМ.ПОтаЕМ-1.749-03.3.4	Арк.
						11
Змн.	Арк.ш	№ докум.	Підпис	Дата		

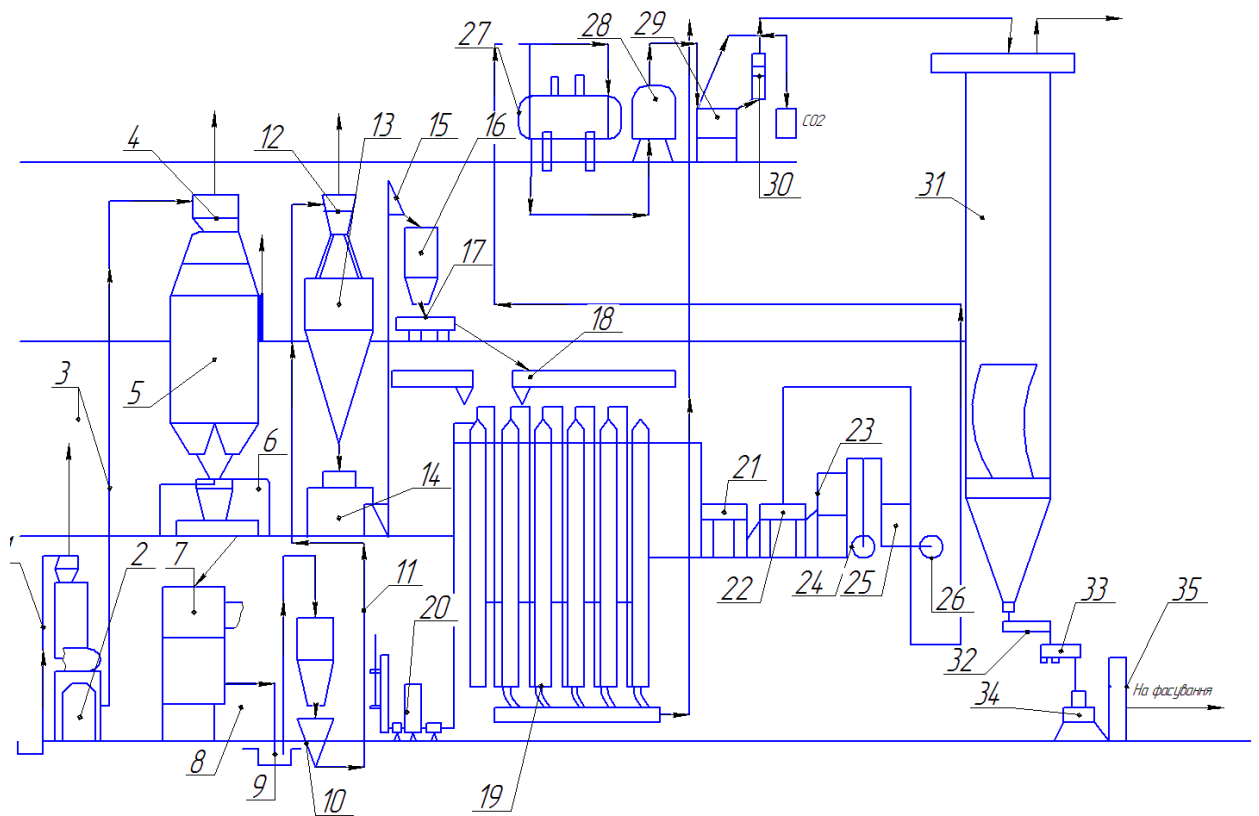


Рис. 1.4 – Машинно-апаратурна схема лінії виробництва розчинної кави.

Тривалість обсмажування однієї порції кави (240–300 кг) становить 13–18 хв за нормальної температури 180–215°C в апараті типу «Пробат». Обсмажену каву зволожують безпосередньо в обжарювальному барабані, доводячи вологість до 5–7%, щоб уникнути утворення дрібних частинок при розмелюванні. Для цього до кінця обсмажування барабан протягом 50 с подають 20 л води і закривають вихід димовим газом. Це зменшує дезодорацію кави та знижує втрати ароматичних речовин. Кислотність обсмаженої кави повинна становити 5,2–5,4 рН, а вміст екстрактивних речовин для кави I сорту не менше 25%, для кави II сорту – 27,5%. Потім обсмажену каву охолоджують в охолоджувальній чаші 8 і через каменевідбірник 9 і 10 ваги пневмотранспортером високого тиску 11 направляють з розвантаженням в циклоні-осаджувачі 12 в бункер 13, призначений для зберігання смаженої кави. Звідси обсмажені зерна надходять на гранулятор 14 де їх дроблять, перетворюючи на крупку.

					КРМ.ПОтаЕМ-1.749-03.3.4	Арк.
Змн.	Арк.ш	№ докум.	Підпис	Дата		12

Важливе значення має розмір гранул подрібнених зерен. Відомо, що швидкість процесу екстракції обернено пропорційна розміру частинок, вона зменшується при їх збільшенні, тому вигідно мати якомога дрібніші частинки продукту, що піддається екстракції. Але значне зменшення розміру частинок призводить до погіршення змочуваності та умов фільтрації екстракту. Оптимальний розмір частинок подрібнених зерен залежить від екстракційного обладнання. Працюючи на екстракційних батареях фірми «Ніро Атомайзер» прийнято розмір гранул 1–2 мм.

Крупку (гранульовану каву) ковшовим елеватором 15 завантажують в бункер 16, а звідти вібротранспортером 17 через пересувні ваги 18 екстрактори екстракційної батареї 19, де з метою отримання екстракту кави обробляють гарячою водою, попередньо пом'якшеної на установці 20. Для очищення воду обробляють кухонною сіллю. Жорсткість води після обробки сіллю не повинна перевищувати 0,35 мг-екв/л. Екстракційна установка 19 являє собою агрегат, що складається з шести екстракторів зі знімними трубчастими фільтрами, що мають отвори діаметром 1,0–1,5 мм, шести проміжних теплообмінників зі змійовиками, в яких проходить екстракт, що обігрівається зовні паром, одного водонагрівача для нагрівання води, що надходить у батареї. Повний цикл екстракції триває 7–8 годин. За цей час через кожен екстрактор проходить 3500–4000 л води. В екстрактори закладають по 165 кг гранульованої кави. Співвідношення кави та води в екстракторі таким чином становить 1:20–1:25, що є оптимальним. Температура та тиск екстракції зазначені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1.

Режим екстракції розчинної кави

Показник	Число працюючих екстракторів					
	1	2	3	4	5	6
Перший екстрактор:						Розвантаження-завантаження

Температура, °С	70...80	105...110	120...140	150...160	170...180	
Тиск, МПа	0	0,3	0,6	0,9	1,2...1,5	
Другий екстрактор:	Заванта- ження					
Температура, °С		70...80	105...110	120...140	150...160	170...180
Тиск, МПа		0	0,3	0,6	0,9	1,2...1,5
Третій екстрактор:		Заванта- ження				
Температура, °С			70...80	105...110	120...140	150... 160
Тиск, МПа			0	0,3	0,6	0,9
Четвертий екстрактор:			Заванта- ження			
Температура, °С				70...80	105...110	120...140
Тиск, МПа				0	0,3	0,6
П'ятий екстрактор:				Заванта- ження	70...80	
Температура, °С					0	105...НО
Тиск, МПа					Заванта- ження	0,3
Шостий екстрактор:						70...80
Температура, °С						0
Тиск, МПа						

Екстракт з батареї відбирають із вмістом 27–28% сухих речовин. Отриманий екстракт через пластинчасті фільтр 21 і охолоджувач 22 перекачують в змішувальний бак 23, де змішують з порошком розчинної

					КРМ.ПОтаЕМ-1.749-03.3.4	Арк.
Змн.	Арк.ш	№ докум.	Підпис	Дата		14

кави, доводячи вміст сухих речовин у продукті до 30%. З бака насосом 24 перекачують екстракт кави у збірник-ваги 25, а звідти насосом 26 танк-накопичувач 27.

Далі екстракт профільтровують через фільтр 28 і живильним насосом 29 високого тиску через ресивер 30 подають в сушильну вежу 31. Кавовий екстракт сушать на розпилювальній сушарці з форсунковим розпиленням продукту. Екстракт, що розпилюється у вигляді дрібних крапель, зустрічається з потоком гарячого повітря, що подається вгору вентилятором, і миттєво висихає. Температура повітря на вході в сушильну вежу 230–280°C, на виході з сушильної вежі – не більше 105–115°C.

Отриманий сухий екстракт кави з сушильної вежі вивантажують на вібросито 32 і з нього через віброохолоджувач 33 – в контейнер 34. Контейнери зважують на вагах 35 [5].

3. Енергетичний та екологічний моніторинг процесу конвективного сушіння.

Конвективне сушіння є заключним процесом у технологіях виробництва розчинної кави, цукру, харчових концентратів, сухого молока, крохмалю, порошків соків, напоїв тощо. За допомогою конвективних технологій сушать плоди, овочі, зернові та олійні культури, сухарі. Досвід показує, що процес конвективного сушіння значною мірою визначає енергетичні витрати на виробництво продукту (таблиця 1.2).

Таблиця 1.2.

Питомі витрати теплоти на 1 кг випареної вологи

Марка	Тип	Продуктивність, кг/год	Витрати теплоти, кДж/кг	Технологія
А1-ФМУ	Розпилювальна	80	7630	Меланжева
ЦТР-500	Розпилювальна	500	7750	Молочно-консервна
RS-1000	Розпилювальна	1000	7500	Молочно-консервна

А1-ОГК	Вібросушилка	300	7930	Казеїнова
СБУ-1	Барабанна	20000	7000	Цукрова

Разом з тим, організація конвективного енергопідведення до продукту, що висушується, вимагає суттєвих витрат і швидкостей сушильного агенту. В результаті енергія повітряного потоку передається часткам продукту, відбувається віднесення частинок із сушильної камери. З'являється необхідність у громіздких системах газоочищення, проте, незважаючи на застосування батарейних циклонів, втрати сухого порошку продукту значні.

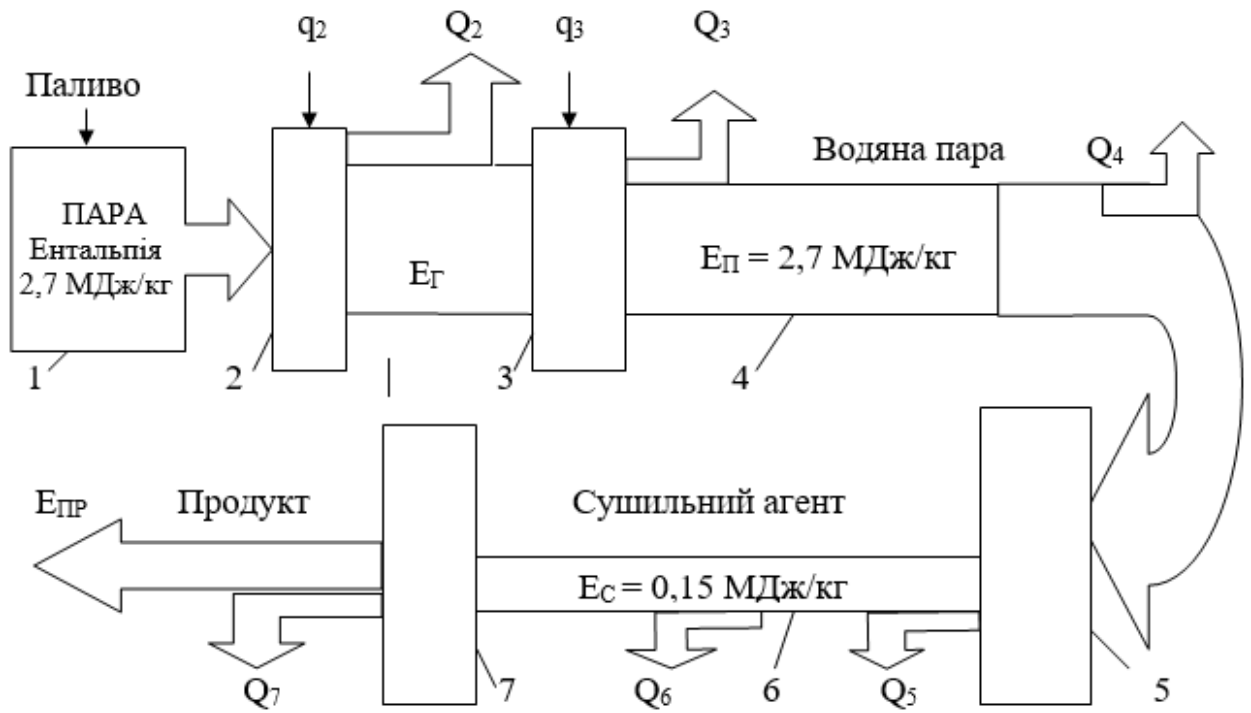
Зведення енергетичних витрат у сушильних установках різних харчових технологій, складена за даними [6], представлена в таблиці 1.2. Аналіз таблиці 1.2 показує, що сушіння є енергоємним процесом. Фізична енергія, необхідна для перетворення 1кг води у пару становить близько 2,5 МДж, проте сушильні технології споживають у 2,5–3 рази більше. При цьому менші витрати енергії характерні в комбікормової та в зерносушильної технологіях. Але це досягається зниженням екологічної безпеки процесу, адже сушіння тут здійснюється сумішшю топкових газів та повітря.

Для переважної більшості харчових технологій (таблиця 1.2) питомі витрати теплоти становлять 7– 8 МДж на 1 кг випареної вологи.

Основна причина високої енергоємності конвективного способу сушіння – вкрай низька ефективність багаторазових перетворювачів енергії та систем її транспортування. Кожен елемент трансформації енергії та її транспортування – це неминучі незворотні втрати енергії. Розглянемо естафетну модель [6] трансформації та транспортування енергії в конвективних сушильних установках (рис. 1.5).

Відомим ефективним способом зниження витрати енергії є утилізація теплоти відпрацьованого теплоносія. Це найбільш економічний та оперативний шлях у вирішенні завдань підвищення енергетичної ефективності виробництва, при якому зберігаються без змін основне обладнання та технологічні режими.

					КРМ.ПОтаЕМ-1.749-03.3.4	Арк.
Змн.	Арк.ш	№ докум.	Підпис	Дата		16



Енерготехнологічний елемент	№ на схемі	Характеристика
Розподільча мережа	1	Трубопровід палива та форсунка
Перетворювач енергії	2	Топка
Перетворювач енергії	3	Парогенеруючі труби
Розподільча мережа	4	Паропровід
Перетворювач енергії	5	Паровий калорифер
Розподільча мережа	6	Повітропровід
Споживач енергії	7	Сушильна шахта

Рис. 1.5 Естафетна модель перетворення, розподілу та споживання енергії в конвективній сушарці.

Енергія палива 1 у паливковому пристрої 2 перетворюється на енергію топкових газів, а далі в кип'ятильних трубах 3 – в енергію водяної пари. При цьому через неповноту згоряння втрачається Q_2 , а випромінюванням, продуванням і з газами, що йдуть – Q_3 . Частково повернути енергію Q_3 можна в повітропідігрівачі (q_2) і в економайзері (q_3). При транспортуванні водяної пари втрачається Q_4 енергії. У калорифері 5 енергія пари з втратами енергії конденсатом Q_5 і випромінюванням при

транспортванні $6 Q_6$ трансформується в енергію сушильного агенту, який у шахті 7 віддає енергію (з втратами Q_7) продукту. Детальна структура теплових втрат [6] ілюструється (рис. 1.6).

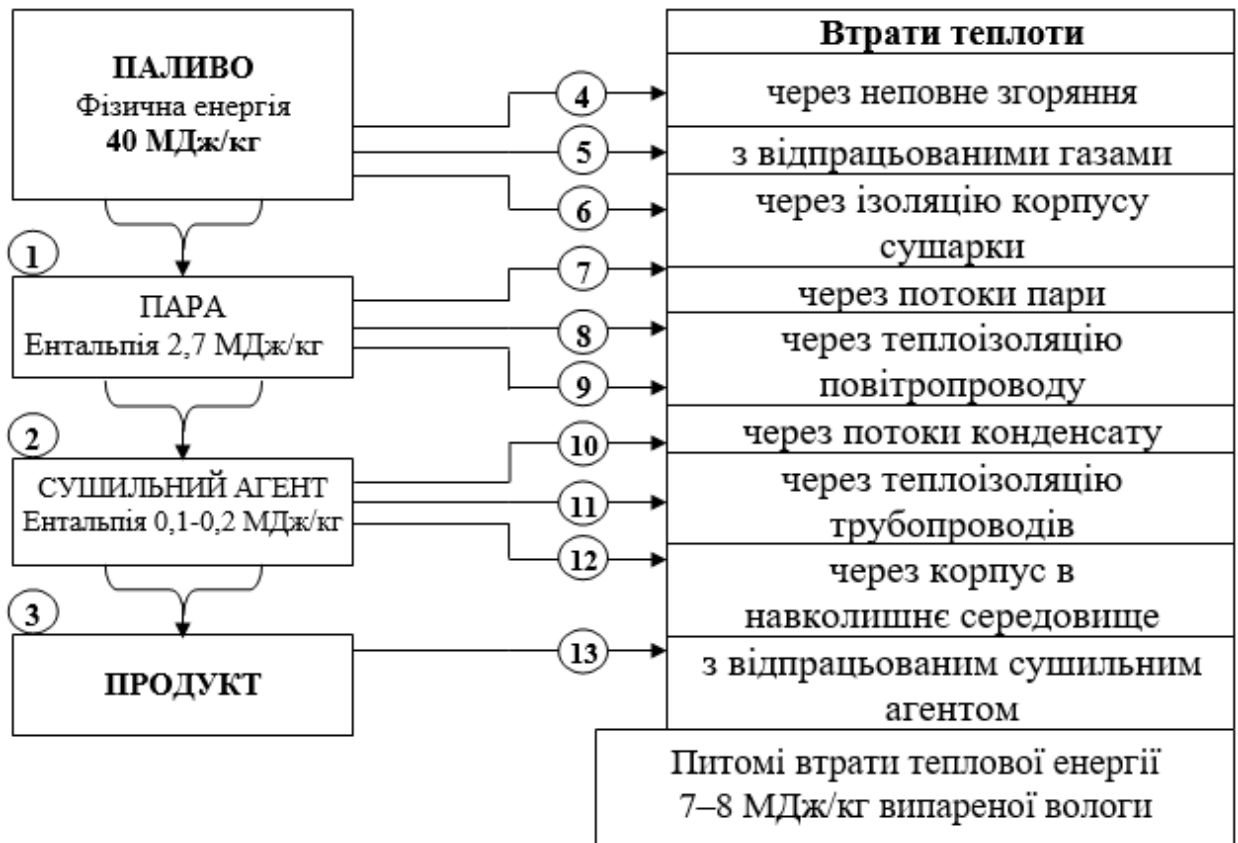


Рис. 1.6 – Розподіл теплової енергії на сушіння.

Проведемо аналіз складу, витрат і температур відпрацьованого сушильного агенту в різних харчових технологіях та установках.

4. Тепловий потенціал і запилення відпрацьованого сушильного агенту.

Зведення структури теплоносія на виході з сушильних установок у різних харчових виробництвах з роботи [7], представлена в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3.

Параметри аерозольних викидів

Сушарка	Витрати, кг/с	Температура, °С	Вологовміст, г/кг	Концентрація пилу, г/м ³	Виробництво
ПСА	8,3	70	11,5	0,276	Цукрове
СБУ	18,9	55	11	0,276	Цукрове
СПС-20	5,5	69	10	0,282	Цукрове
ПЦС- 8М	2,5	140	60	0,56	Крохмальне
Ніро-Атомайзер	3,18	105	69	0,055	Харчоконцентратне
РС- 1000	10	90	48	0,11	Молочне
РСМ- 500	3,8	90	48	0,14	Молочне
НЕМА	5,8	70	36	0,2	Молочне

Аналіз таблиці 1.3 показує, що найбільший температурний потенціал має відпрацьований теплоносій у технології крохмального виробництва. Тут же й найвищі втрати продукту, достатня кількість водяної пари в теплоносії. Найбільші витрати теплоносія характерні для цукрових виробництв. Оскільки, загальні втрати продукту та теплоти визначаються як питомими параметрами, так і витратою теплоносія, оцінимо сумарні втрати теплоти і продукту (таблиця 1.4).

Таблиця 1.4.

Втрати теплоти та продукту на одній установці за рік

Сушарка	Втрати теплоти, ГДж	Втрати продукту, кг	Продукт
СБУ-1	23400	125800	Цукор
ПСА	11200	57600	Цукор
ПЦС-8М	8860	42500	Крохмаль

					КРМ.ПОтаЕМ-1.749-03.3.4	Арк.
Змн.	Арк.ш	№ докум.	Підпис	Дата		19

СПС-20	7300	39000	Цукор
HEMA	8350	29300	Суше молоко
РС-1000	20500	29300	Суше молоко
PCM-500	7800	14200	Суше молоко
Ніро-Атомайзер	8200	4560	Кава

Аналіз таблиці 1.4 показує, що з однієї установки на рік губиться від 40 до 126 т цукру, від 14 до 30 т сухого молока. Разом з тим, основні дослідження з вилучення з відпрацьованого сушильного агенту пилу харчового продукту відносяться до харчоконцентратного виробництва, де і загальні втрати продукту істотно менше, і кількість заводів, що виробляють розчинну каву в Україні, тільки 4. Однак, зважаючи на високу вартість розчинної кави, проблема вилучення кавового пилу з відпрацьованого сушильного агенту є досить актуальна.

Представляється, що другою проблемою є оптимізація експлуатаційних характеристик термосифонних утилізаторів, їх конструювання та організація їх роботи таким чином, щоб забезпечити максимальний прибуток від повернення в технологію продукту та теплоти. Причому, критерії оцінки ефективності експлуатації термосифонних утилізаторів теплоти та пилу харчового продукту повинні враховувати особливості конструкції апарату.

5. Класифікація теплоутилізаційних термосифонних рекуператорів за експлуатаційними ознаками.

Принципово, за експлуатаційними вимогами, всі рекуператори можна поділити на дві групи. Перша – апарати безперервної дії, експлуатація яких вимагає періодичного відключення рекуператора від діючої лінії щодо профілактичних робіт. Друга – апарати циклічної дії, в процесі експлуатації яких здійснюється періодичне відключення їх від системи, виконання профілактичних робіт і підключення до системи (рис. 1.7). Рекуператори циклічної дії можуть бути конструктивно легко розбірні [8] (модульні,

					КРМ.ПОтаЕМ-1.749-03.3.4	Арк.
Змн.	Арк.ш	№ докум.	Підпис	Дата		20

касетні), або нероз’ємні і такі, конструкція яких не передбачає простих способів розбирання. У таких апаратах передбачаються спеціальні системи очищення поверхні від твердих відкладень. Це можуть бути механічні пристрої (скребки, щітки), гідравлічні (колектори з форсунками), пневматичні. Таким чином, різними способами передбачається можливість примусового видалення шару твердих відкладень з теплопередаючої поверхні. Природно, що необхідність таких систем очищення вимагає додаткових витрат під час виготовлення рекуператорів. При оцінці ефективності експлуатації теплоутилізатора в цих випадках слід враховувати й трудомісткість процесів розбирання–чищення–збирання, або операції чищення.

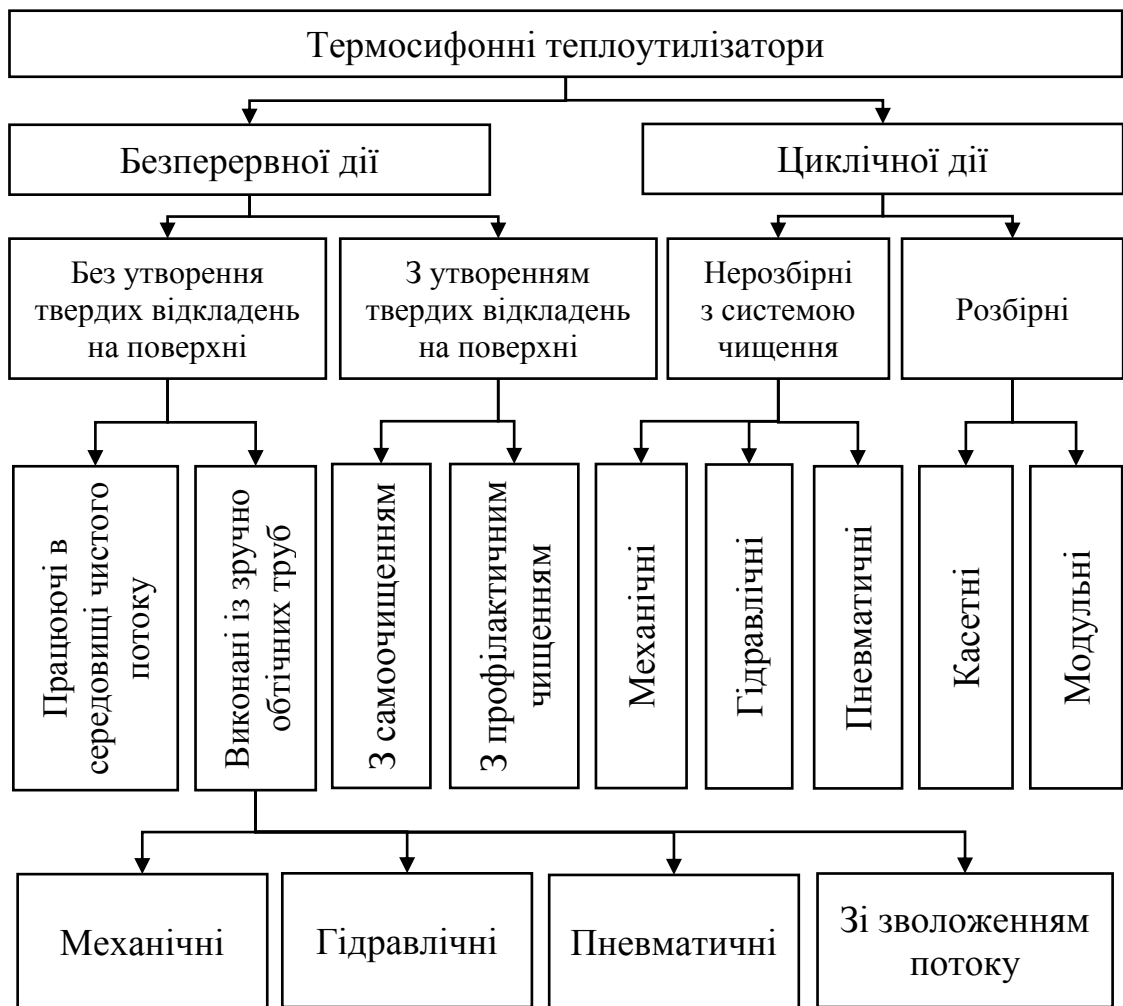


Рис. 1.7 – Класифікація термосифонних теплоутилізаторів.

Рекуператори, що безперервно діють, можуть працювати без утворення шару твердих відкладень на поверхні. Це, природно, при роботі в середовищі чистого потоку, а також, коли аерозольний потік проходить через пучок, що виключає умови для місцевих відкладень твердих частинок. У таких пучках повинні бути ТТ зручнообтічної форми (овальні, плоскі тощо). Звичайно, такі пучки не можуть мати ребра зовнішньої поверхні.

Оскільки, як правило, в рекуператорах "газ-газ" ребра сприяє інтенсифікації теплопереносу, то в пучках зручнообтічних труб експлуатаційна стабільність превалює над теплотехнічною ефективністю.

Наступна група рекуператорів характеризується тим, що на теплопередаючій поверхні відбувається відкладення шару пилу. Якщо цей пил цінного продукту (цукору, молока, екстракту, соку і т.п.), то можлива така компоновка пучка і така конструкція ребер ТТ, при якій досягається інтенсивний масоперенос пилу з потоку на поверхню ТТ. Якщо пил не становить комерційної цінності (продукти згоряння, лушпиння зернових тощо), теплопередаюча поверхня не передбачає функції "фільтра". Разом з тим, і в першому і в другому випадку слід передбачити технологію видалення пилу з теплопередаючої поверхні.

Для розчинення харчового пилу перспективна технологія штучного зволоження газового потоку [9]. У цьому випадку додається водяна пара в такій кількості, щоб температура поверхні ТТ виявилася нижчою за температуру точки роси. За такою технологією на поверхні конденсується водяна пара, а конденсат, що утворився, розчиняє і змиває з поверхні ТТ шар пилу. Технологія може бути реалізована без відключення рекуператора від лінії. Можливі варіанти з механічним зніманням пилу, змивом за рахунок розпилу води форсунками або здування її спрямованими повітряними струменями.

Оригінальна технологія організації роботи рекуператора в режимі "самоочищення" [10] передбачає, що ряд ТТ мають температуру поверхні

					КРМ.ПОтаЕМ-1.749-03.3.4	Арк.
						22
Змн.	Арк.ш	№ докум.	Підпис	Дата		

випарника нижче, ніж температура точки роси при параметрах гарячого потоку.

На основі запропонованої класифікації можуть бути розроблені методи оцінки ефективності рекуператорів з урахуванням умов їх експлуатації.

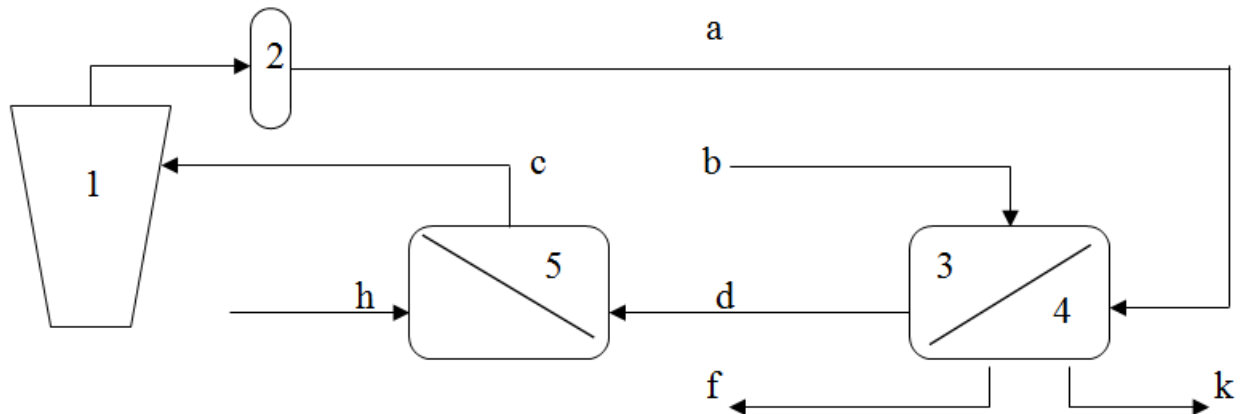
6. Система комплексної утилізації теплоти та пилу харчового продукту.

Харчові технології в Україні характеризуються значними витратами енергії та втратами сировини та готового продукту. Питомі витрати в АПК в 2–4 рази перевищують рівень передових фірм розвинених країн. Втрати сировини та готового продукту, крім економічних, мають ще серйозні екологічні наслідки. Найбільше це стосується печей та сушарок харчових виробництв. Так, з аерозольними викидами сушильної установки за рік втрачається від 6 до 24 ГДж теплоти, від 4,5 до 125 т готового продукту (кави, сухого молока, цукру, тощо). Саме цей пил продукту не дозволяє використовувати традиційні теплоутилізаційні апарати з розвиненою поверхнею теплопередачі. В ОНТУ запатентована система комплексної утилізації теплоти та пилу харчового продукту [10], технічна ідея якої полягає в тому, що використовується специфіка відпрацьованого сушильного агенту (водорозчинність пилу та наявність у потоці теплоносія чистої водяної пари) та унікальні особливості сучасних модулів для організації теплопередачі, двофаз термосифонів (ТС). Пропонується аерозольний паропилегазовий потік після сушарки (рис. 1.8) направляти в спеціальний термосифонний апарат. Завданням такого апарату є вилучення з аерозольного потоку теплової енергії та пилу харчового продукту. Такі апарати створені вперше та отримали назву тепломасоутилізатор (ТМУ).

Схема (рис.1.8) у комплексі вирішує проблеми енергозбереження (утилізація теплоти відпрацьованого теплоносія), ресурсозбереження (вилучення з аерозольного потоку цінного пилу харчового продукту),

					КРМ.ПОтаЕМ-1.749-03.3.4	Арк.
						23
Змн.	Арк.ш	№ докум.	Підпис	Дата		

забезпечення екологічної безпеки (зневоднення, знепилення та зниження температури викидів).



1 – сушарка, 2 – циклон, 3 – секція охолодження ТМУ, 4 – секція нагріву ТМУ, 5 – калорифер, a – відпрацьований теплоносій, b – холодне повітря, c – гарячий теплоносій, d – тепле повітря, f – розчин продукту, h – енергоносій, k – викид у навколишнє середовище

Рис. 1.8 – Схема комплексної утилізації теплоти та пилу сушарки.

Однак проектування та оптимізація режимів експлуатації таких апаратів потребує нових підходів до розрахунку комбінованих процесів аеродинаміки та тепломасоперенесення. В ОНТУ послідовно вивчалися ці процеси, деякі результати яких [11–16] разом із відомими методами розрахунку теплообмінників на теплових трубах становлять наукові засади проектування ТМУ.

7. Аналітичне та експериментальне моделювання процесів тепломасоперенесення у термосифонному утилізаторі.

7.1. Загальні завдання моделювання.

Аналіз літератури, проведений у першому розділі, дозволяє сформулювати основні завдання досліджень. Основним методом дослідження вважається аналітичне моделювання, що дозволяє спростити завдання експериментів. Комплекс математичного та експериментального

					КРМ.ПОтаЕМ-1.749-03.3.4	Арк.
Змн.	Арк.ш	№ докум.	Підпис	Дата		24

моделювання становитиме наукову основу комбінованих процесів аеромеханіки та тепломасоперенесення в ТМУ.

Окремими завданнями математичного моделювання є:

- обґрунтування та вибір принципу моделювання;
- визначення структури критеріального рівняння.

Завданнями експериментальних досліджень є:

- вибір методів вимірювань параметрів потоку та розчину;
- розробка елементів експериментального стенду;
- отримання приватних залежностей щодо впливу швидкості потоку, структури потоку (концентрації в ньому пилу та вологи, розмірів частинок) на інтенсивність масопереносу;
- отримання універсального критеріального рівняння для розрахунку інтенсивності міжфазного масоперенесення.

7.2. Методи математичного моделювання.

Проаналізуємо завдання взаємодії крапель конденсату та частинок пилу продукту в потоці теплоносія у міжтрубному просторі тепломасоутилізатора. Результатом такого міжфазного перенесення буде зміна поля концентрацій пилу в потоці.

При постановці задачі вважається, що баро– і термодифузія дуже малі, перенесення теплоти випромінюванням відсутнє, а щільність і в'язкість потоку не залежать від концентрації та температури. Отже, розподіл концентрацій і температури не впливають на обтікання частки і краплі. Це дає можливість незалежного аналізу аеродинамічного завдання про в'язке обтікання та дифузійно-термічного завдання про поля концентрації та температури. Тобто, необхідна для вирішення дифузійно-теплого завдання інформація про поле швидкостей вважається відомою.

При таких припущеннях перенесення маси пилу харчового продукту в краплю конденсату супроводжується розчиненням пилу обсягом краплі, а процес конвективної дифузії виражається співвідношенням:

					КРМ.ПОтаЕМ-1.749-03.3.4	Арк.
						25
Змн.	Арк.ш	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\frac{\partial C_T}{\partial \tau} + (W * \nabla) C_T = D \Delta C_T + F_m (C_T, X_K, t_P) \quad (1.1)$$

У співвідношенні (1.1) W – вектор швидкості потоку, F_m – швидкість розчинення пилу в обсязі краплі (визначається як кількість пилу, що поглинається в одиниці об'єму в одиницю часу), t_P – температура суміші.

Оскільки, частинки пилу і краплі конденсату мають різну початкову (до взаємодії) температуру, то процес розчинення є неізотермічний, тобто. необхідно рівняння перенесення теплоти:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} + (W * \nabla) T_P = a \Delta T_P + H_m F_m \quad (1.2)$$

Тут H_m – тепловий ефект процесу розчинення.

Аналогічні (1.1) і (1.2) співвідношення справедливі й у аналізі процесів, що усередині краплі. Після ряду спрощень та використання чисел подібності запишемо:

- безрозмірне рівняння дифузії:

$$\Delta Z_T = Pe_m (W * \nabla) Z_P, \quad (1 < r < \infty) \quad (1.3)$$

- безрозмірне рівняння теплопровідності:

$$\Delta T = Pe_T (W * \nabla) T, \quad (1 < r < \infty) \quad (1.4)$$

З граничними умовами, що виражають сталість температури та концентрації далеко від частки:

$$\Delta T = 0, \quad (1 > r \geq 0) \quad (1.5)$$

$$r \rightarrow \infty, \quad Z_T \rightarrow 0, \quad T \rightarrow 0 \quad (1.6)$$

безперервність температури:

$$r = 1, \quad (T = T_P) \quad (1.7)$$

					КРМ.ПОтаЕМ-1.749-03.3.4	Арк.
						26
Змн.	Арк.ш	№ докум.	Підпис	Дата		

Система рівнянь доповнюється співвідношеннями, що виражають наявність взаємодії пилу на поверхні краплі, баланс речовини:

$$\frac{\partial Z_T}{\partial r} = -F_m(Z_T, T), \quad r = 1 \quad (1.8)$$

та енергії на поверхні краплі:

$$\frac{\partial T}{\partial r} - \delta^* \frac{\partial T_P}{\partial r} = h_m \frac{\partial Z_m}{\partial r}, \quad r = 1 \quad (1.9)$$

а також обмеженістю температури в центрі краплі:

$$|T_P| < \infty, \quad r = 0 \quad (1.10)$$

Безрозмірні комплекси у співвідношеннях (2.4 – 2.10) мають вигляд:

$$Z_T = \frac{C'_T - C_T}{C'_T} \quad (1.11)$$

$$T = \frac{t' - t_n}{t'}, \quad T_P = \frac{t' - t_K}{t'} \quad (1.12)$$

$$\delta = \frac{\lambda_K}{\lambda_n}, \quad h_m = H_m \frac{DC'_T}{\lambda_n t'} \quad (1.13)$$

У масообмінному (Pe_m) і тепловому (Pe_T) числах Пекле використовуються характерна швидкість u і як визначальний розмір – діаметр краплі:

$$Pe_m = \frac{ud_K}{D}, \quad Pe_T = \frac{ud_K}{a} \quad (1.14)$$

Функція швидкості розчинення (F_m) пов'язана зі швидкістю поверхневої взаємодії співвідношенням:

$$F_m(Z_T, T) = \frac{d_K}{DC'_T} F_S(C_T, X_K, T) \quad (1.15)$$

					КРМ.ПОтаЕМ-1.749-03.3.4	Арк.
						27
Змн.	Арк.ш	№ докум.	Підпис	Дата		

У рівняннях (1.3 – 1.15) прийняті наступні позначення: C'_T і C_T – концентрація частинок, відповідно, на вході в апарат та в потоці; t' , t_n , t_K відповідно температури потоку на вході в апарат, частинок і крапель до їх взаємодії.

Аналіз наведених рівнянь показує, що навіть за умови серйозного спрощення аеродинамічної ситуації в міжтрубному обсязі, використання стоксового наближення для поля швидкостей процедура отримання наближеного асимптотичного рішення задачі громіздка та складна. Точне вирішення завдання неможливо, навіть якщо як розподіл швидкостей в'язкого обтікання краплі у вигляді сфери пінати найпростіше з відомих рішень - рішення Стокса. Наближене розв'язання задачі можливе методом зрощування асимптотичних розкладів за масообмінним числом Пекле по внутрішній та зовнішній областях течії. Після численних наближень здійснюється перехід до поверхневих середніх величин і визначається явний вираз для числа Шервуд.

Звісно ж, що точніші результати може дати експериментальне моделювання, проте, аеродинаміка паропилогазового потоку залишається ключовим питанням і при постановці експериментів.

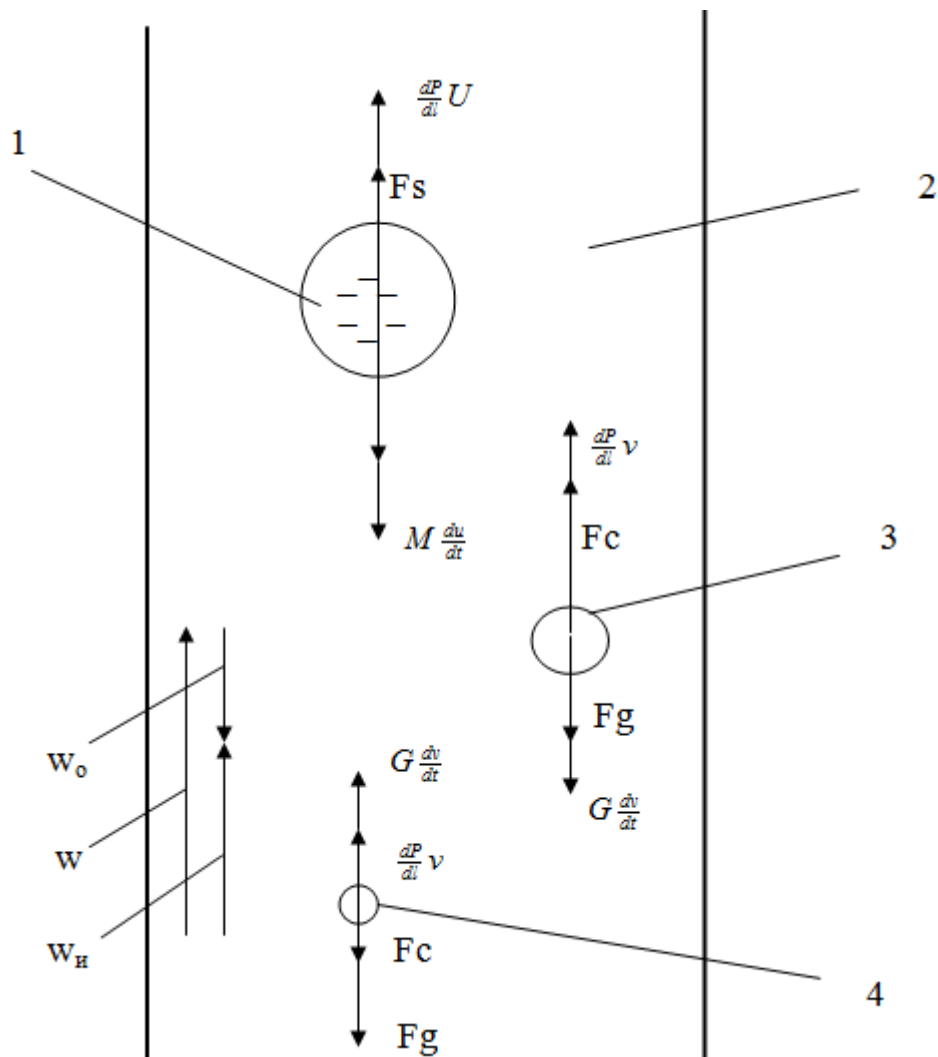
Режими руху паропилогазового потоку в міжтрубному просторі.

Інтенсивність процесів міжфазного тепломасоперенесення у просторі між рядами термосифонів значною мірою визначається режимом руху потоку, поведінкою частки пилу та краплі конденсату. Фізичні процеси, що у основі взаємодії фаз потоку, дуже різноманітні, визначаються структурою потоку, конструктивними особливостями апарату і теплофізичними властивостями компонентів.

Розглянемо принцип підйомного руху потоку з твердими частинками пилу та їх взаємодії з краплями конденсату, що стікають із поверхні ТС. Характер взаємодії визначається балансом сил, які діють елементи потоку

					КРМ.ПОтаЕМ-1.749-03.3.4	Арк.
Змн.	Арк.ш	№ докум.	Підпис	Дата		28

(рис. 1.9). В об'ємі потоку 2, який рухається зі швидкістю w , знаходиться крапля конденсату 1, маса якої M , і тверда частка 3, маса якої G . Компенсують силу тяжіння частинки Fg та силу інерції ($G \frac{dv}{dt}$) сили опору Fc та сили, обумовлені градієнтом тисків градієнтом тиску ($v \frac{dP}{dl}$). Ці сили спрямовані у бік, протилежний руху частки. Результуюча швидкість руху (інерції) w_u визначається швидкістю осадження w_0 і швидкістю потоку w . Якщо частка велика і швидкість осадження більше швидкості інерції ($w_0 > w_u$), то частка 3 рухатиметься вниз. Вона або осяде на нижче розташованому ТС, або досягне піддону з розчином і там розчиниться.



1 – крапля конденсату, 2 – потік теплоносія, 3 – велика частка,
4 – дрібна частка

Змн.	Арк.ш	№ докум.	Підпис	Дата

КРМ.ПОтаЕМ-1.749-03.3.4

Рис. 1.9 – Баланс сил, що діють на частинку та краплю конденсату в потоці теплоносія.

Частка 4 з меншими розмірами матиме інший баланс сил (рис. 1.9). Для неї $w_0 < w_u$, частка уноситься потоком вгору апарату і взаємодіє з краплею конденсату.

Крапля конденсату рухається вниз зі швидкістю U . На неї діють сили тяжкості Fg , сили опору руху Fs , сили інерції ($M du/dt$) та сили, зумовлені градієнтом тисків ($u dP/dl$).

Звісно, розглянута схема значно спрощена, в ній відсутні поперечні сили, що викликаються асиметричністю потоку газу поблизу стінок апарату внаслідок градієнта швидкості, поперечні сили, що породжуються турбулентним перемішуванням, перетворення частини кінетичної енергії осьового руху частинок в кінетичну енергію радіального руху при поперечному обтіканні термосифону. Не враховуються ефекти обертання частинок та їх ковзання вздовж корпусу та теплопередаючих поверхонь ТС.

7.3. Застосування методу аналізу розмірностей.

Структуру критеріального рівняння до розрахунку коефіцієнтів масовіддачі при комбінованому перебігу процесів за схемою (рис. 1.8). Встановимо на осі загальноприйнятих принципів методу аналізу розмірностей [17–20]. Розрахунок гідравлічних, дифузійних і термічних опорів і відповідних коефіцієнтів перенесення повинен враховувати специфіку режимів руху потоку теплоносія та дисперсних компонентів встановлену на рисунку 1.9.

Вплив на величину коефіцієнта масовіддачі β надають еквівалентний діаметр каналу $d_э$, щільність ρ і в'язкість потоку μ швидкість його руху w . Група цих властивостей характеризує інерційні характеристики потоку. Умовою взаємодії частки пилу, діаметр якої $d_ч$ і краплі конденсату, діаметр якої $d_к$, є наявність різниці швидкостей їх руху $w_ч$ і $w_к$, або векторів

					КРМ.ПОтаЕМ-1.749-03.3.4	Арк.
Змн.	Арк.ш	№ докум.	Підпис	Дата		30

(напрямів) руху. Як було обґрунтовано вище, обмежуємося випадком, коли частка несуть потоком вгору, а крапля стікає вниз. Гідродинамічна ситуація для умов взаємодії характеризується практичною відсутністю зовнішнього дифузійного опору, тобто. формування прикордонного шару відбувається біля поверхні краплі, але всередині її. Визначальне значення у разі матиме коефіцієнт дифузії D продукту в конденсаті.

Природно, для взаємодії пилу і конденсату має бути їх наявність у потоці. Тому, слід враховувати відносну концентрацію в обсязі як пилу, так і крапель.

Список перелічених параметрів наведено в таблиці 1.5. Всі ці параметри містять лише три основні розмірності: довжину (L), масу (M) і час (τ).

Таблиця 1.5.

Список параметрів

Параметр	Символ	Розмірність
1. Середній коефіцієнт масовіддачі	β	$L * \tau^{-1}$
2. Коефіцієнт дифузії	D	$L^2 * \tau^{-1}$
3. Середня швидкість потоку	w	$L * \tau^{-1}$
4. Середня густина потоку	ρ	$M * L^{-3}$
5. Середня в'язкість потоку	μ	$M * L^{-1} * \tau^{-1}$
6. Концентрація в потоці крапель	ΔX	$M * L^{-3}$
7. Концентрація в потоці пилу	ΔC	$M * L^{-3}$
8. Еквівалентний діаметр каналу	d	L
9. Діаметр частинки	$d_{\text{ч}}$	L

Параметр	Символ	Розмірність
10. Відносна швидкість руху крапель та частинок пилу	w_0	$L^* \tau^{-1}$

Все 10 параметрів виражаються за допомогою лише 3 розмірних одиниць. Згідно з π -теоревою зв'язок між цими параметрами може бути встановлений у вигляді 7 безрозмірних комплексів.

Параметри d , ρ , μ приймаємо загальними всім безрозмірних груп. Тоді для першої групи запишемо:

$$\pi_1 = d^a \rho^b \mu^c \beta^g \quad (1.16)$$

Або у розмірній формі:

$$1 = [L]^a \left[\frac{M}{L^3} \right]^b \left[\frac{M}{L\tau} \right]^c \left[\frac{L}{\tau} \right]^g \quad (1.17)$$

Для рівняння (1.17) розмірна матриця має вигляд:

Таблиця 1.6.

Розмірна матриця

	a	b	c	g	Рівняння
M		1	1		$b + c = 0$
L	1	-3	-1	1	$a - 3b - c + g = 0$
τ			-1	-1	$-c - g = 0$

Рішенням системи рівнянь (таблиця 1.6) є: $c = -a = -b = -g$.

Тому:

$$\pi_1 = \frac{\mu}{d \rho \cdot \beta} \quad (1.18)$$

Наступні комплекси визначимо аналогічно шляхом об'єднання d, ρ, μ з параметрами, що залишилися (таблиця 1.5), тобто $\Delta X, \Delta C, w, D, w_0, d_{\tau}$. Так, для концентрації крапель в потоці:

$$1 = [L]^a \left[\frac{M}{L^3} \right]^b \left[\frac{M}{L\tau} \right]^c \left[\frac{M}{L^3} \right]^g \quad (1.19)$$

Для рівняння (1.19) розмірна матриця має вигляд:

Таблиця 1.7

Розмірна матриця

	a	b	c	g	Рівняння
M		1	1	1	$b + c + g = 0$
L	1	-3	-1	-3	$a - 3b - c - 3g = 0$
τ			-1		$-c = 0$

Рішенням системи рівнянь (таблиця 1.7) є: $c = 0; a = 0; -b = g$.

Тому:

$$\pi_2 = \frac{\Delta X}{\rho} \quad (1.20)$$

Аналогічно для ΔC :

$$1 = [L]^a \left[\frac{M}{L^3} \right]^b \left[\frac{M}{L\tau} \right]^c \left[\frac{\Delta C}{L^3} \right]^g \quad (1.21)$$

Для рівняння (1.21) розмірна матриця має вигляд:

Таблиця 1.8

Розмірна матриця

	a	b	c	g	Рівняння
M		1	1	1	$b + c + g = 0$
L	1	-3	-1	-3	$a - 3b - c - 3g = 0$
τ			-1		$-c = 0$

Рішенням системи рівнянь (таблиця 1.8) є: $c = a = 0$; $-b = g$.

Тому:

$$\pi_3 = \frac{\Delta C}{\rho} \quad (1.22)$$

Для швидкості потоку:

$$1 = [L]^a \left[\frac{M}{L^3} \right]^b \left[\frac{M}{L\tau} \right]^c \left[\frac{L}{\tau} \right]^g \quad (1.23)$$

Для рівняння (1.23) розмірна матриця має вигляд:

Таблиця 1.9

Розмірна матриця

	a	b	c	g	Рівняння
M		1	1		$b + c = 0$
L	1	-3	-1	1	$a - 3b - c + g = 0$
τ			-1	-1	$-c - g = 0$

Рішенням системи рівнянь (таблиця 1.8) є: $a = b = g = -c$.

Тому:

$$\pi_4 = \frac{wd\rho}{\mu} \quad (1.24)$$

Для коефіцієнту дифузії:

$$1 = [L]^a \left[\frac{M}{L^3} \right]^b \left[\frac{M}{L\tau} \right]^c \left[\frac{L^2}{\tau} \right]^g \quad (1.25)$$

Для рівняння (1.25) розмірна матриця має вигляд:

Таблиця 1.10

Розмірна матриця

	a	b	c	g	Рівняння
M		1	1		$b + c = 0$
L	1	-3	-1	2	$a - 3b - c + 2g = 0$
τ			-1	-1	$-c - g = 0$

Рішенням системи рівнянь (таблиця 1.10) є: $c = -a = -b$. А $g = 0$.

Тому:

$$\pi_5 = \frac{\mu}{D\rho} \quad (1.26)$$

Для параметру w_0 :

$$1 = [L]^a \left[\frac{M}{L^3} \right]^b \left[\frac{M}{L\tau} \right]^c \left[\frac{L}{\tau} \right]^g \quad (1.27)$$

Для рівняння (1.27) розмірна матриця має вигляд:

Таблиця 1.11

Розмірна матриця

	a	b	c	g	Рівняння
M		1	1		$b + c = 0$
L	1	-3	-1	1	$a - 3b - c + g = 0$

τ			-1	-1	$-c - g = 0$
--------	--	--	----	----	--------------

Рішенням системи рівнянь (таблиця 1.11) є: $a = b = g = -c$.

Тому:

$$\pi_6 = \frac{w_0 d \rho}{\mu} \quad (1.28)$$

Для характерного розміру частинки:

$$1 = [L]^a \left[\frac{M}{L^3} \right]^b \left[\frac{M}{L\tau} \right]^c [L]^g \quad (1.29)$$

Для рівняння (1.29) розмірна матриця має вигляд:

Таблиця 1.12

Розмірна матриця

	a	b	c	g	Рівняння
M		1	1		$b + c = 0$
L	1	-3	-1	1	$a - 3b - c + g = 0$
τ			-1		$-c = 0$

Рішенням системи рівнянь (таблиця 1.11) є: $c = b = 0$; $g = -a$.

Тому:

$$\pi_7 = \frac{d\eta}{d} \quad (1.30)$$

$$\left. \begin{aligned} \pi_1 = \frac{\mu}{w d \rho}; \quad \pi_2 = \frac{\Delta X}{\rho}; \quad \pi_3 = \frac{\Delta C}{\rho}; \quad \pi_4 = \frac{d w \rho}{\mu}; \\ \pi_5 = \frac{\mu}{\rho \cdot D}; \quad \pi_6 = \frac{d w \cdot \rho}{\mu}; \quad \pi_7 = \frac{d \eta}{d} \end{aligned} \right\} \quad (1.31)$$

Останній комплекс показує співвідношення геометричних параметрів каналу та частки пилу: $\pi_7 = d_q / d$. Система (1.31) використовується для пошуку комбінацій, які дадуть структуру критеріального рівняння. Комплекс π_4 - це число Рейнольдса, а π_5 - число Шмідта. Групи π_1 та π_5 дають число Шервуда:

$$\frac{\pi_5}{\pi_1} = \frac{\beta \cdot d}{D} = Sh \quad (1.32)$$

Відповідно:

$$\pi_5 \cdot \pi_6 \cdot \pi_7 = \frac{d_q \cdot w_0}{D} = Pe_m \quad (1.33)$$

є дифузійним числом Пекле.

Таким чином отримуємо:

$$\pi_5 \cdot (\pi_1)^{-1} = A \cdot (\pi_4)^n \cdot (\pi_5)^k \cdot (\pi_2)^m \cdot (\pi_3)^p \cdot (\pi_5 \cdot \pi_6 \cdot \pi_7)^q \quad (1.34)$$

Або у більш звичному виразі через числа подібності:

$$Sh = A \cdot (Re)^n \cdot (Pe_m)^q \cdot (Sc)^k \cdot (X)^m \cdot (C)^p \quad (1.35)$$

Співвідношення (1.35) встановлює зв'язок між числами Шервуда, Рейнольдса, Шмідта, масообмінним Пекле та параметричними комплексами, які характеризують ступінь запиленості потоку (C) та вміст у ньому вологи (X).

Можлива й інша комбінація безрозмірних комплексів:

$$\pi_5 \cdot (\pi_1 \cdot \pi_4 \cdot \pi_5)^{-1} = A \cdot (\pi_2)^m \cdot (\pi_3)^p \cdot (\pi_5 \cdot \pi_6 \cdot \pi_7)^q \quad (1.36)$$

Комбінація в лівій частині співвідношення (1.36) є дифузійним числом Стантона. ($St_m = \beta / w$). Для умов аналізованого завдання можна отримати і таку структуру критеріального рівняння:

					КРМ.ПОтаЕМ-1.749-03.3.4	Арк.
						37
Змн.	Арк.ш	№ докум.	Підпис	Дата		

$$St_m = A \cdot (Pe)^n \cdot (X)^k \cdot (C)^m \quad (1.37)$$

Числа Шервуда і Стантона є дві різні безрозмірні форми коефіцієнта масовіддачі. Кожна з цих форм має свої переваги. Число Шервуда не містить режимних параметрів, але до його складу входять характерний розмір системи та коефіцієнт дифузії. Тому узагальнення результатів дослідження у формі (1.35) має переваги щодо впливу геометричних розмірів системи та фізичних властивостей середовища.

Число Стантона безпосередньо пов'язане з дифузійним опором, воно не залежить від уявлення про пристінний прикордонний шар як області дії молекулярного механізму масопереносу. Виведення числа Шервуда ґрунтується саме на аналізі такого пристінного шару.

Проведений аналіз схеми міжкомпонентного масопереносу в міжтрубному просторі тепломасоутилізатора показує, що значення β визначається інерцією потоку (масоперенесення за умов вільного руху відсутня), геометричні параметри апарату що неспроможні безпосередньо проводити інтенсивність масовіддачі. У цих умовах швидкість потоку може бути прийнята як характеристичний значення коефіцієнта масовіддачі і служити для нього масштабом віднесення.

В результаті цього аналізу перевага надається співвідношенню (1.37). Константи A , n , k , m визначаються експериментально.

8. Експериментальні дослідження міжфазного масоперенесення.

Характеристика завдань досліджень.

Досліджувані пилу харчових продуктів є багатокомпонентними гетерогенними системами, що включають як прості речовини, так і біополімери. Звісно, властивості таких сумішей, їх структура, консистенція безпосередньо залежить від взаємодії всіх компонентів. У свою чергу, взаємодія компонентів тісно пов'язана з їх індивідуальними гідратаційними властивостями, які лежать в основі процесу взаємодії пилу і крапель води.

					КРМ.ПОтаЕМ-1.749-03.3.4	Арк.
						38
Змн.	Арк.ш	№ докум.	Підпис	Дата		

Однак облік всіх цих факторів окремо представляється надзвичайно складним завданням і в рамках цієї роботи не ставиться. Будемо вважати пил при моделюванні простою системою, а продукт взаємодії пилу з водою бінарним розчином. У такій постановці завдання експериментальних досліджень істотно спрощується, а необхідна для інженерних розрахунків точність узагальнюючих співвідношень буде залежати від коректності проведення дослідів. Результати експериментів враховують вплив на процес, як визначальних компонентів, так і основних, найбільш вагомих компонентів.

Інтенсивність процесу взаємодії пилу продукту та крапель води за таких припущень визначається загальновідомими факторами. В інтегральній формі ця залежність виражається рівнянням масопереносу:

$$M = \beta \cdot F \cdot (X_p - X) \quad (1.38)$$

Метою експериментальних досліджень є отримання критеріального рівняння для визначення коефіцієнта масовіддачі β , значень рівноважної концентрації X_p . Крім того, знадобляться відомості по коефіцієнтам дифузії.

З вищесказаного, формулюються такі завдання експериментальних досліджень.

1) Встановити приватні залежності коефіцієнта масовіддачі β від режимних параметрів та виду продукту.

2) Встановити залежність коефіцієнтів дифузії D від температури.

3) Встановити залежність рівноважної концентрації X_p від температури.

У дослідях варіюється вид пилу продукту, режимні параметри потоку (швидкість, температура, ступінь запиленості, вміст вологи) і дисперсний склад пилу. Як об'єкт досліджень вибирається цукровий, кавовий пил, а також пил вишневого і лимонного соків. Це найважливіші продукти у харчових технологіях України. Не плануються дослідження з молочним

					КРМ.ПОтаЕМ-1.749-03.3.4	Арк.
Змн.	Арк.ш	№ докум.	Підпис	Дата		39

пиллом, оскільки її властивості ще суттєво залежать і від часу, що потребує постановки окремих досліджень.

Дослідження коефіцієнту дифузії в системі «кава–вода».

Досліди щодо визначення коефіцієнтів дифузії проводилися у високих і вузьких мірних циліндрах. Зразок пилу продукту у кількості 5–10 г розміщувався у циліндрі. Потім в циліндр наливалася дистильована вода, так, щоб виключити перемішування твердої фази з рідиною. Процес контролювався за наявності чіткої межі розділу «кава–вода».

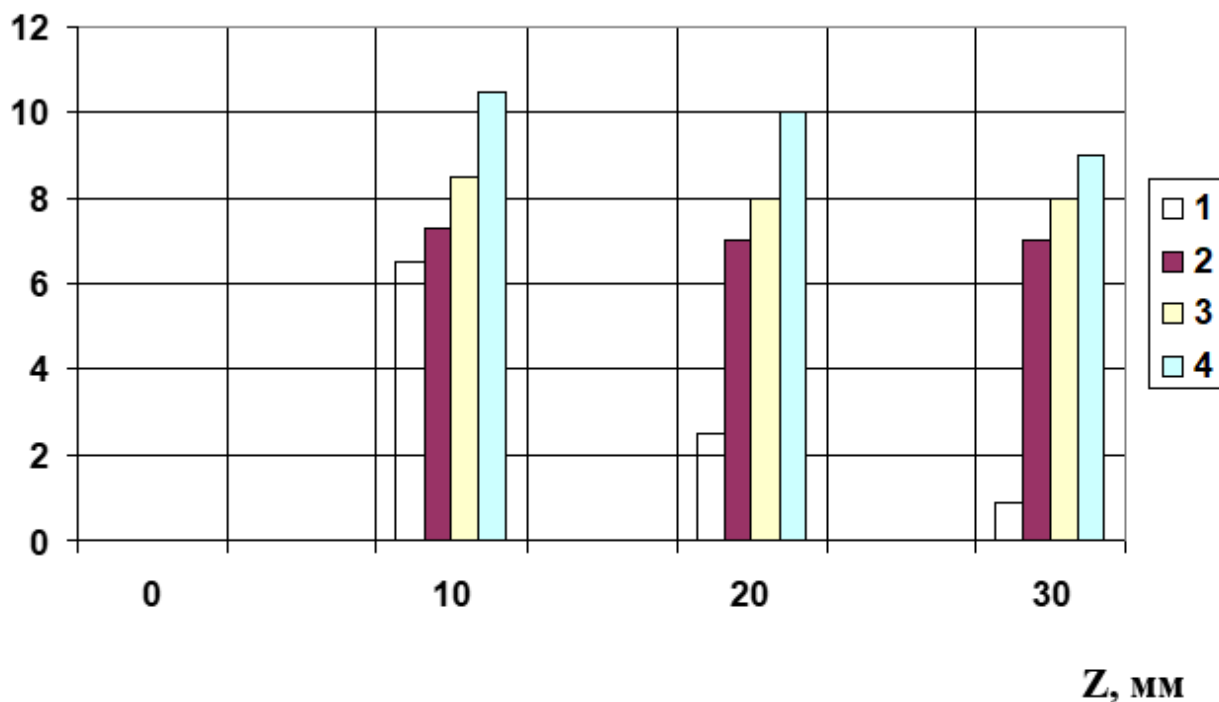
Концентрація розчину вимірювалася через певні проміжки часу різних заглибленнях від межі розділу фаз. Вимірювання проводилися рефрактометрами РЛ-2 та ІРФ-4546, а показання оптичної щільності переводилися в значення концентрацій за допомогою спеціально побудованих градуювальних кривих. Згодом, концентрація розчину збільшувалася і прагнула вирівнювання.

Температура розчинів під час дослідів стабілізувалася за допомогою термостата і дорівнювала 25°C. Результати дослідів щодо зміни концентрації розчину в просторі та в часі для системи «кава–вода» наведено на рисунку 1.10.

Отримані дослідним шляхом криві були продиференційовані з метою отримання графічної залежності концентрації розчину від межі розділу фаз ($\partial X/\partial Z$). Власне, проведена перша серія дослідів (рис. 1.10–1.13) була тарувальною, відпрацьовувалася методика експерименту.

					КРМ.ПОтаЕМ-1.749-03.3.4	Арк.
						40
Змн.	Арк.ш	№ докум.	Підпис	Дата		

$X, \%$



1 – $\tau = 1$ год, 2 – $\tau = 1,5$ год, 3 – $\tau = 2$ год, 4 – $\tau = 24$ год

Рис. 1.10 – Просторово-часовий розподіл концентрацій у системі «кава–вода».

$\partial X / \partial Z$

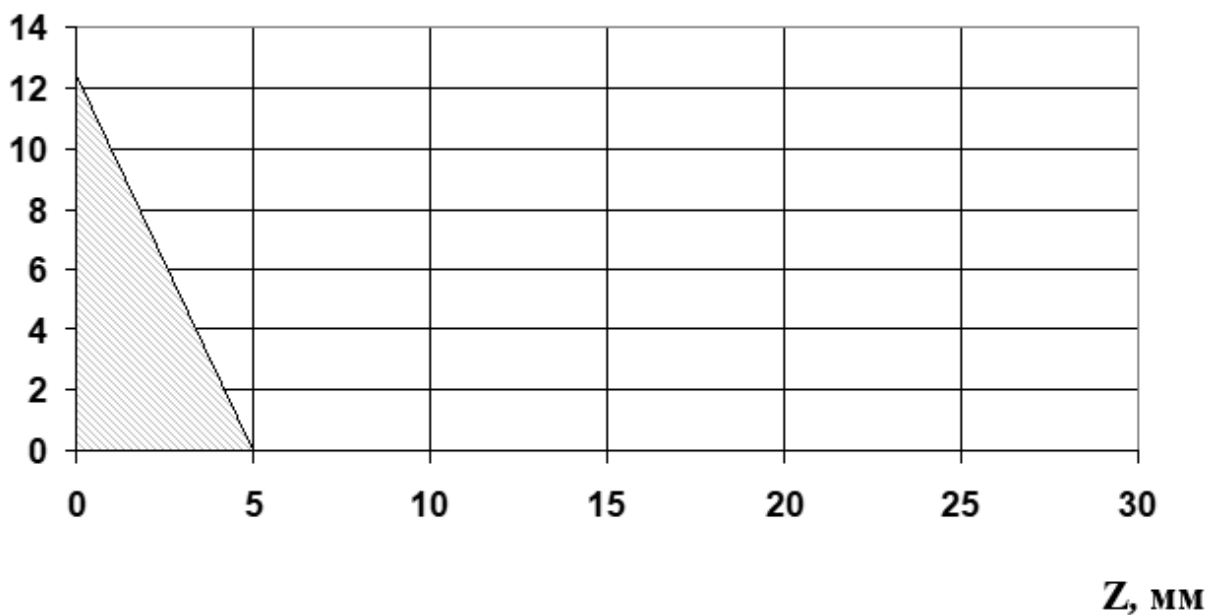


Рис. 1.11 – Графічне диференціювання. Система «кава–вода» (Час = 10 хв).

Змн.	Арк.ш	№ докум.	Підпис	Дата

КРМ.ПОтаЕМ-1.749-03.3.4

$\partial X / \partial Z$

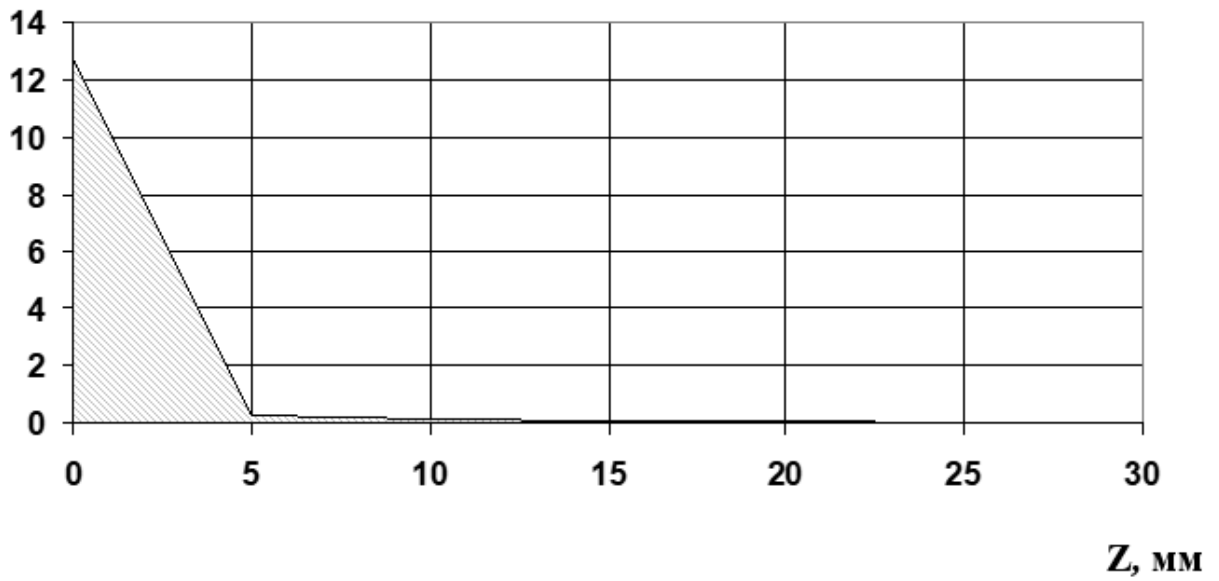


Рис. 1.12 – Графічне диференціювання. Система «кава–вода» (Час = 60 хв).

$\partial X / \partial Z$

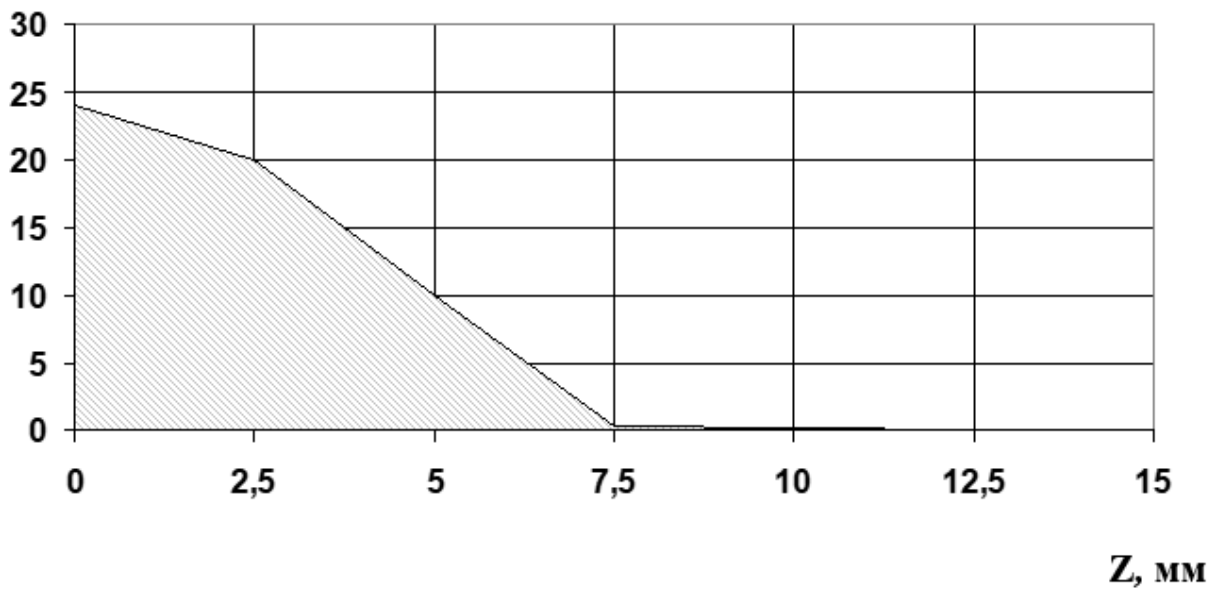


Рис. 1.13 – Графічне диференціювання. Система «кава–вода» (Час = 90 хв).

$\partial X / \partial Z$

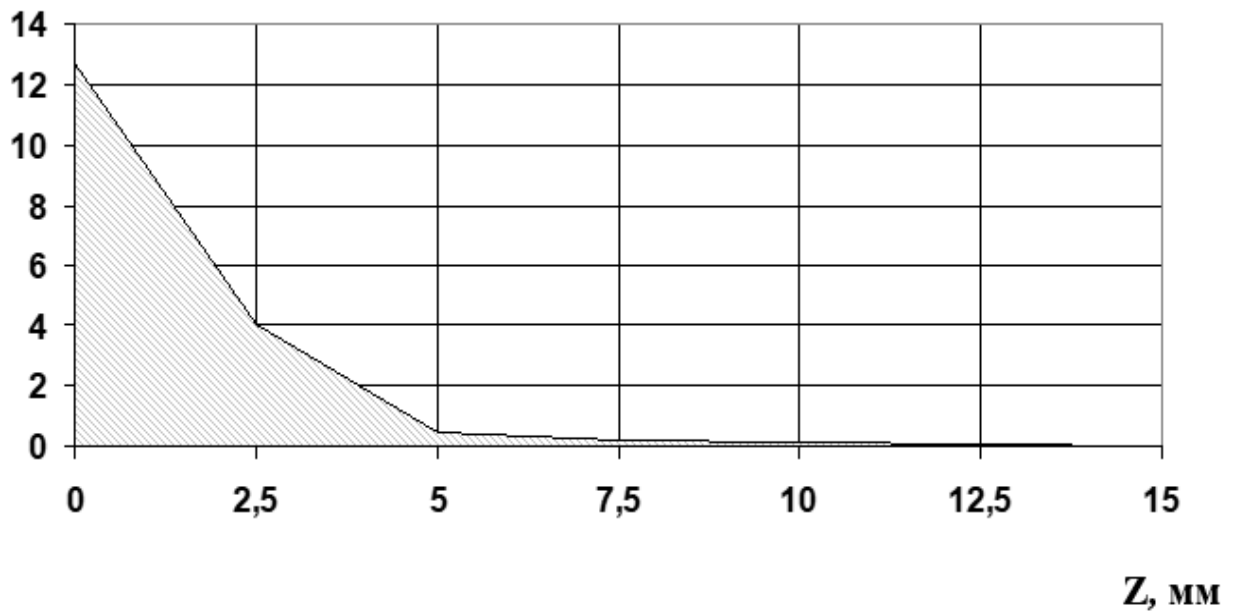


Рис. 1.14 – Графічне диференціювання. Система «кава–вода» (Час = 1440 хв).

В результаті графічного інтегрування (рис. 1.11–1.14) встановлені такі значення коефіцієнтів дифузії (таблиця 1.13)

Таблиця 1.13

Значення коефіцієнтів дифузії

$D \times 10^9, \text{ м}^2/\text{с}$	0,76	0,16	0,3	0,005
$\tau, \text{ хв}$	10	60	90	1440

Середнє значення коефіцієнта дифузії визначено для всього проміжку часу як відношення площі під графіком (з урахуванням масштабу) та часу (рис. 1.15).

$D \times 10^9, \text{ м}^2/\text{с}$

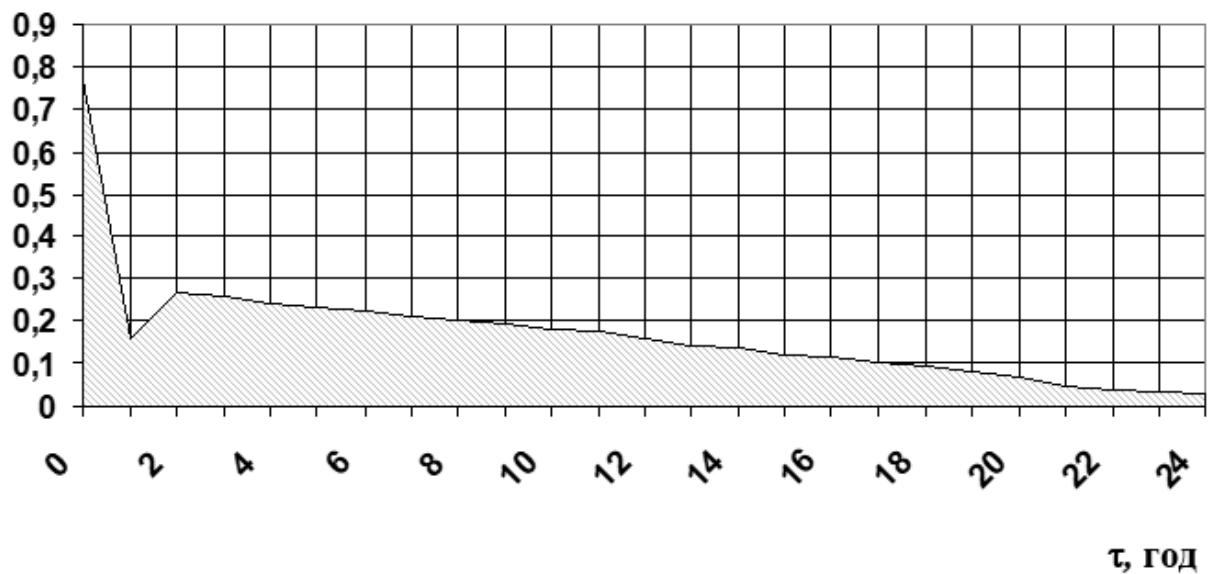


Рис. 1.15 – Усереднення значень коефіцієнта дифузії для системи «кава–вода».

Середнє значення коефіцієнта дифузії для системи «кава–вода» при температурі 25°C становить $0,19 \times 10^{-9} \text{ м}^2/\text{с}$.

Дослідження умов фазових рівноваг.

Ступінь граничного насичення конденсату розчинними компонентами продукту визначається його видом і температурою розчину.

Знання значення рівноважної концентрації розчину необхідне оцінки рушійної сили процесу масопереносу у співвідношенні (1.38).

У попередніх дослідах визначалися порогові кількості речовини (відповідні точки насичення) при різній температурі, а також час, необхідний для досягнення точки насичення при даній температурі. На другому етапі в колбу з притертою пробкою містилася насипка пилу продукту з розрахунку порогового значення плюс 15% надлишку. Потім додавалася вода, і колба поміщала в термостат при досліджуваній температурі. Суміш періодично перемішувалась і витримувалася в термостаті протягом встановленого часу. Після цього суміш фільтрувалася через паперовий фільтр, що знаходиться в

термостаті під скляним ковпаком, для запобігання випаровування води. Для кожної температури розчинність пилу визначалася при чотирикратному повторі з подальшою обробкою отриманих даних. Результати експериментальних досліджень у вигляді середньоарифметичних значень розчинності із зазначенням точності визначення кожного показника наведено у таблиці 1.14.

Таблиця 1.14

Вплив температури конденсату на умови фазових рівноваг в системі
«кава–вода» (г/кг)

Зразок	Температура, °С					
	20	40	50	60	70	80
Кава	742,9	934,6	1246,3	1883,3	1525,8	2043,8
	±1,85	±2,55	±1,2	±2,19	±5,58	±10,5

Досліди підтвердили, що процес насичення складний і продовжений. Потрапляючи в капіляри продукту вода змочує поверхню адсорбенту і, зрештою, призводить до утворення істинного розчину. Поглинання вологи йде до тих пір, поки не встановлюється певна сорбційна рівновага.

Дослідження коефіцієнту масовіддачі.

Стенд для дослідження процесів міжфазного масообміну (рис. 1.16) включав газовий контур з вентилятором, електрокалорифером, дозатором пилу, дозатором вологи та робочою ділянкою. Системи стенду здійснювали регулювання в широких діапазонах температури (t) і витрати повітря (V), продуктивності дозаторів пилу (M) і вологи (W). Це дозволяло в перерізі газоходу робочої ділянки отримувати необхідні значення швидкості повітря (w), його температури та концентрацій у потоці пилу та вологи (таблиця 1.15).

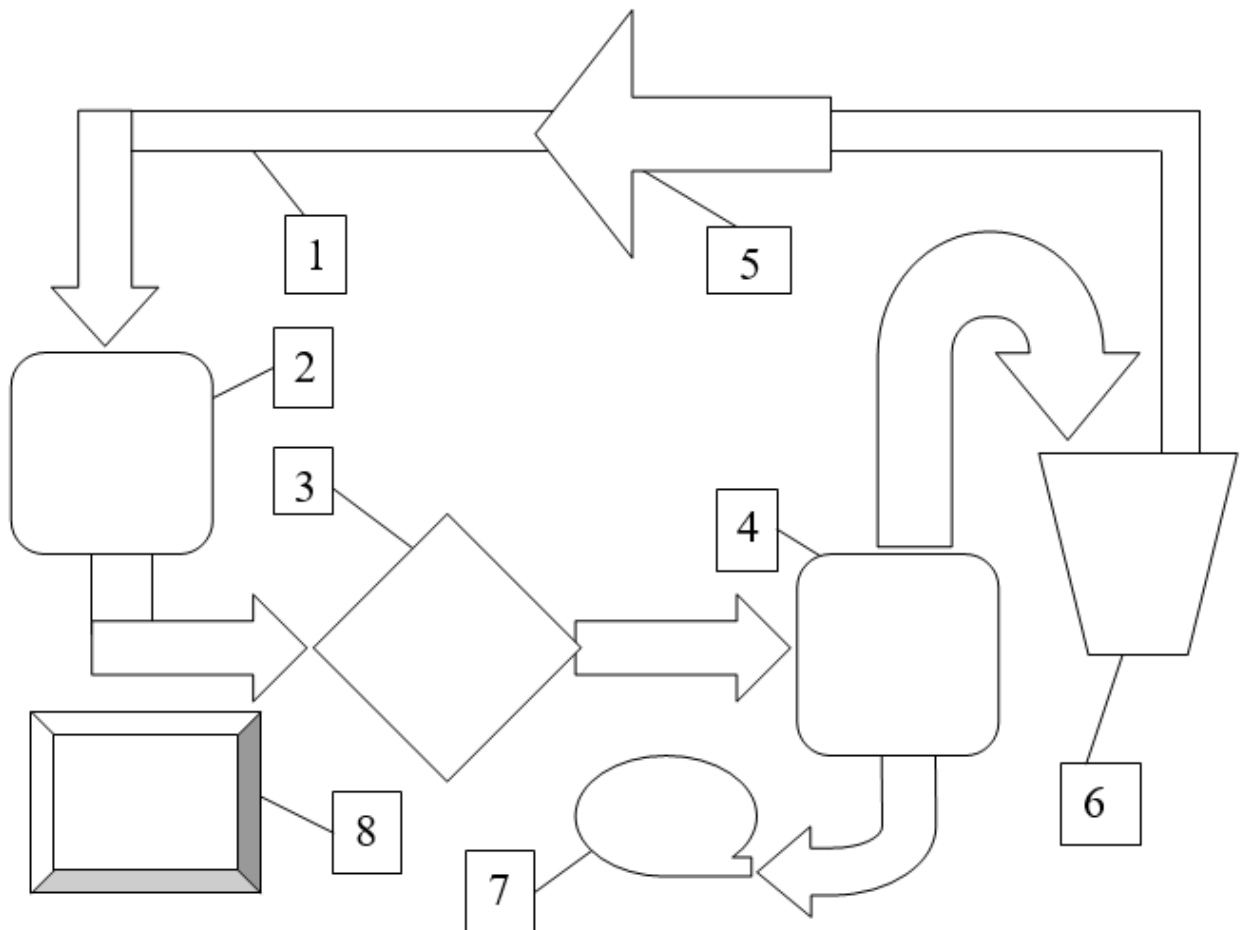
Таблиця 1.15

Характеристика обсягу експериментальних досліджень

Параметр	Позначення	Діапазон
Температура потоку, °С	<i>t</i>	15–80
Швидкість потоку, м/с	<i>w</i>	0,1–3
Витрати повітря, м ³ /с	<i>V</i>	$(0,25–7,5) \times 10^{-3}$
Продуктивність дозатора пилу, кг/с	<i>M</i>	$(1–30) \times 10^{-6}$
Продуктивність парогенератора, кг/с	<i>G</i>	$(0,5–10) \times 10^{-3}$
Концентрація пилу в потоці, м/м	<i>C</i>	$(0,65–35) \times 10^{-6}$
Концентрація вологи в потоці, м/м	<i>d</i>	$(400–1200) \times 10^{-6}$
Число рядів, шт	<i>n</i>	1–12

Завданням системи було забезпечити стабілізацію на необхідному рівні величини температури, швидкості, ступеня запиленості потоку, рівномірний розподіл компонентів пилу в перерізі, насичення потоку водяною парою, стабілізація аеродинамічної течії при вході в робочу ділянку. Вузли системи підготовки вирішували це завдання спільно з приладами контролю та засобами управління.

					КРМ.ПОтаЕМ-1.749-03.3.4	Арк.
						46
Змн.	Арк.ш	№ докум.	Підпис	Дата		



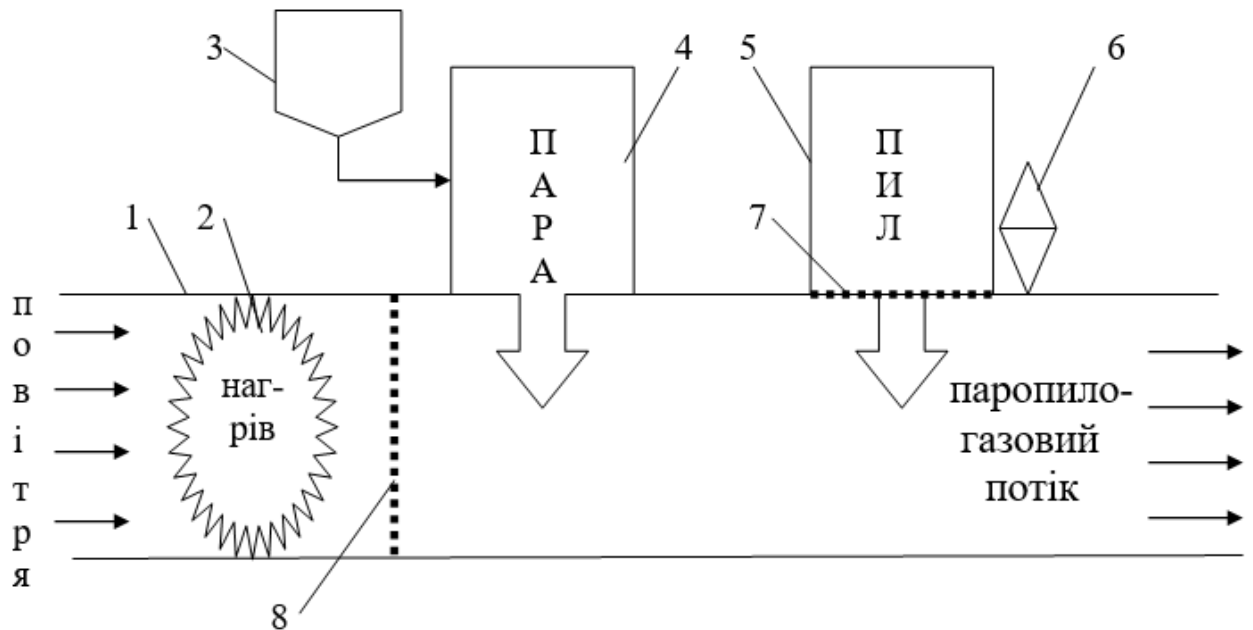
1 – газове кільце, 2 – система транспортування та стабілізації аеродинамічних характеристик потоку, 3 – система підготовки необхідних параметрів потоку, 4 – робоча ділянка, 5 – система вимірювання швидкості потоку, 6 – система очищення потоку від пилу, 7 – система збору конденсату, 8 – система збору інформації

Рис. 1.16 – Структурна схема експериментального стенду.

Основні вузли системи розташовувалися в прямолінійній ділянці газоходу 1 (рис. 1.17) після вентилятора і безпосередньо перед входом в робочу ділянку. Повідомлення газоходу з газовим кільцем 1 (рис. 1.16) здійснювалося за допомогою аеродинамічної коробки, конструкції ЦАГИ-12, яка має гранично низький аеродинамічний опір при повороті потоку, забезпечує компактність і відрізняється простотою виготовлення. Для

					КРМ.ПОтаЕМ-1.749-03.3.4	Арк.
Змн.	Арк.ш	№ докум.	Підпис	Дата		47

регулювання витрати повітря на вході в систему передбачена позиційна фіксуєча заслінка, встановлена перед вентилятором.



1 – повітропровід, 2 – електрокалорифер, 3 – ємність для води,
4 – капілярно-пористий насос парогенератора, 5 – касета з пилом продукту,
6 – вібратор, 7 – сито, 8 – газорозподільні напрямні лопатки

Рис. 1.17 – Основні елементи вузла підготовки теплоносія.

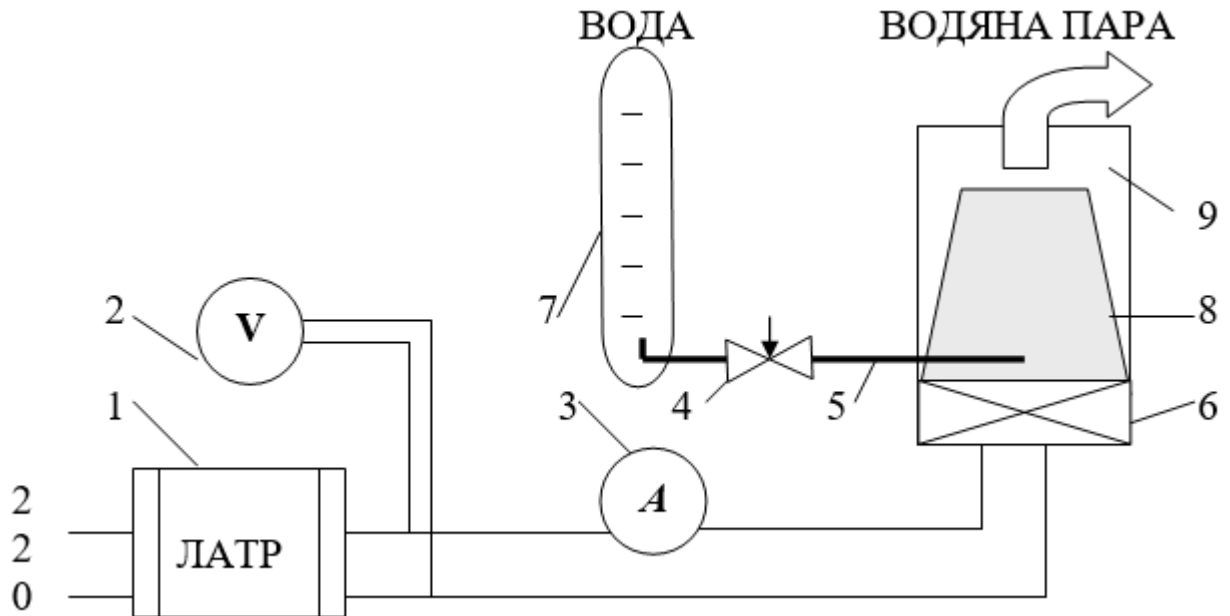
Повітря проходить через електрокалорифер 2 (рис. 1.17), де нагрівається до необхідної температури. Далі повітря надходить в апарат 8, де за допомогою газорозподільних лопаток здійснюється його вирівнювання, стабілізація рівномірного руху потоку по всій площі перерізу газоходу 1. Ефект стабілізації досягається зміною за допомогою гвинтів кута нахилу послідовно розташованих рядів горизонтальних і вертикальних пластин лопаток. Таким чином, досягається рівномірний рух потоку як у горизонтальній, так і у вертикальній площинах.

За допомогою парогенератора 4 забезпечується необхідна концентрація водяної пари в потоці. Продуктивність парогенератора визначається по спаду води в мірній ємності 3, звідки рідина надходить у нижню зону капілярно-пористого патрона. Поточні значення водяного балансу парогенератора

					КРМ.ПОтаЕМ-1.749-03.3.4	Арк.
						48
Змн.	Арк.ш	№ докум.	Підпис	Дата		

зіставлялися з величиною витрати пари, отриманої з теплового балансу за потужністю, яку споживав основний електронагрівач вузла. Компенсація теплових втрат у довкілля проводилася охоронним нагрівачем, відокремленим від основного шаром теплової ізоляції з базальтової вати.

Розгорнута схема вузла генерації пари наведена на рисунку 1.18.



1 – автотрансформатор, 2 – вольтметр, 3 амперметр, 4 – регулюючий вентиль, 5 – трубка для подачі води, 6 – нагрівач, 7 – мірна ємність з водою, 8 – капілярно-пористий патрон (насос), 9 – парозбірник

Рис. 1.18 – Схема парогенератора.

Потужність основного та охоронного нагрівачів регулювалася за допомогою автотрансформаторів типу ЛАТР. Завданням охоронного нагрівача було забезпечити таку величину теплового потоку, при якій температури поверхонь зовнішнього і внутрішнього шарів теплоізоляційної прокладки зберігалися рівними. Це гарантувало, що тепловий потік від основного нагрівача повністю надходить у парогенератор і витрачається на випаровування води. Капілярно-пористий патрон парогенератора виконаний із спеченого мідного порошку. Розмір часу в патроні становить 5–10 мкм.

					КРМ.ПОтаЕМ-1.749-03.3.4	Арк.
						49
Змн.	Арк.ш	№ докум.	Підпис	Дата		

Силами поверхневого натягу створюється перепад тисків між нижньою та верхньою порожнинами парогенератора, що знімає проблему введення пари в газовий потік. Рівномірність розподілу парової фази забезпечувалася за допомогою колектора, розміщеного в газоході. Пара виходила з колектора через систему щілинних отворів назустріч потоку.

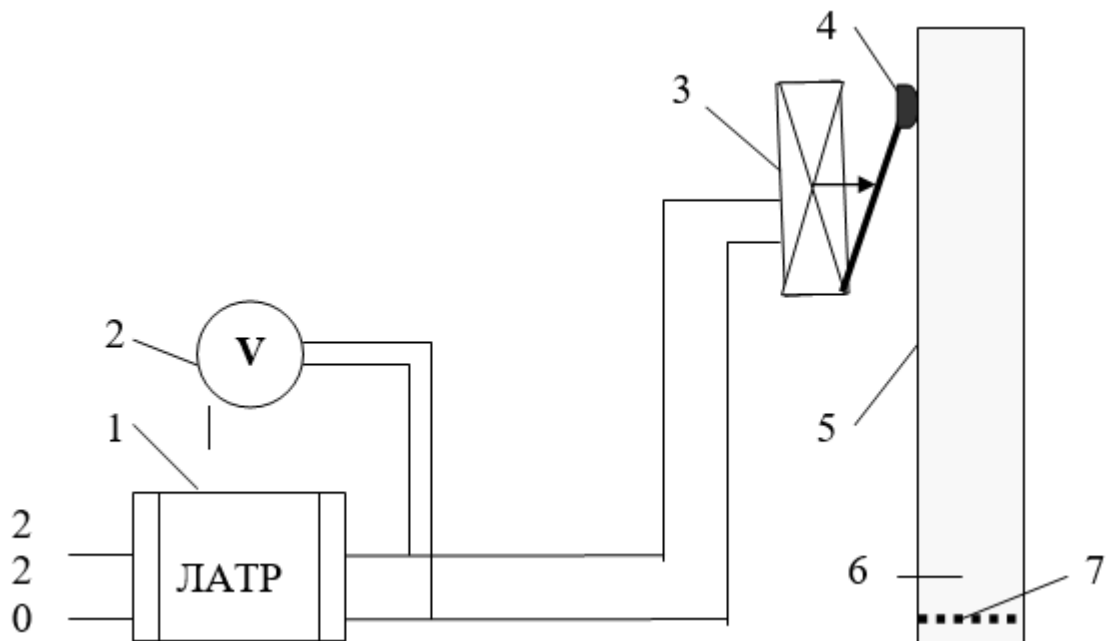
Окремим завданням було забезпечити рівномірний розподіл частинок пилу продукту в газовому потоці. При цьому, система повинна підтримувати потрібну концентрацію пилу. Дозатор пилу містить касету 5, сито 7 та вібратор 6 (рис. 1.17). Касета виконана з оргскла, прозорі стінки дозволяли контролювати витрату пилу в потік. Розміри касети становили 60×55×7 мм. Касета встановлювалася над щілинним зазором газоходу 1. Щілинний зазор закривався ситом 7, яке забезпечувало як рівномірну подачу частинок в газохід, так і необхідний грануло-метричний склад. Зміною сита 7 досягалися необхідні параметри аерозольного потоку.

Проблема руху частинок пилу вирішувалася за допомогою вібратора 6 оригінальної конструкції. В основі вібратора є електромагніт, який викликає коливання стрижня. Останній торцем впливає на стінку касети. Амплітуда коливань змінюється при зміні напруги, яке підводиться до електромагніту. Таким чином, регулюючи напругу живлення електромагніту, змінюється інтенсивність вібрації та, отже, продуктивність дозатора.

Деталі дозатора ущільнені гумовими прокладками, що запобігають викиду пилу в навколишнє середовище і для організації гнучкої підвіски з можливістю коливань касети і просіювання пилу через сито в потік.

Розгорнуту схему вузла дозатора пилу наведено на рис. 1.19.

					КРМ.ПОтаЕМ-1.749-03.3.4	Арк.
						50
Змн.	Арк.ш	№ докум.	Підпис	Дата		



*1 – автотрансформатор. 2 – вольтметр. 3 – електромагніт. 4 – бійков-
штоvwхач. 5 – корпус касети. 6 – пил продукту. 7 – сито*

Рис. 1.19 – Схема дозатора пилу

Таким чином, спільними діями вузлів системи підтримуються необхідні параметри паропилегазового потоку.

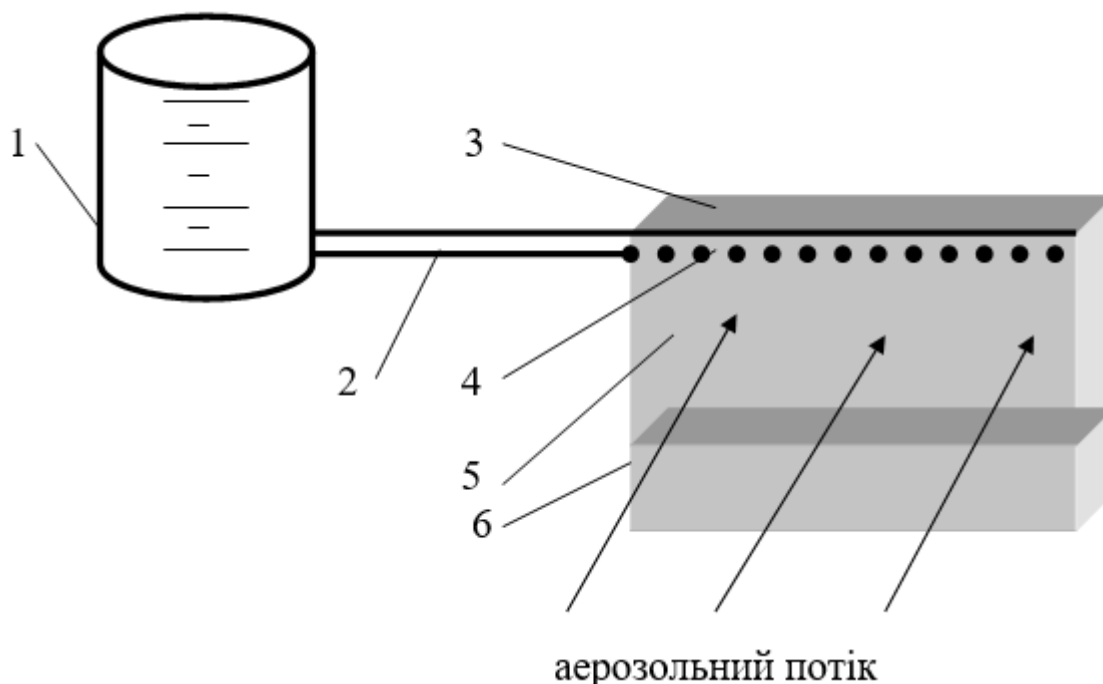
Конструкція робочої ділянки.

Робоча ділянка моделює умови міжфазного тепломасообміну в об'ємі тепломасоутилізатора. При цьому створюються умови, коли має місце парціальна конденсація водяної пари і конденсат, що утворився, стікає з поверхні термосифонів і в міжтрубному просторі взаємодіє з аерозольним потоком. Завданням досліджень є визначення залежності інтенсивності масоперенесення від поєднання режимних (швидкості, температури) і структурних (концентрація пилу) параметрів потоку і ступеня його зрошення конденсатом. Тому засоби робочої ділянки повинні забезпечувати вирішення поставленого завдання.

Ступінь зрошення регулюється натиском, створюваним в дозувальної ємності з водою 1 (рис. 1.20) і гідравлічним опором пористих вставок в

					КРМ.ПОтаЕМ-1.749-03.3.4	Арк.
Змн.	Арк.ш	№ докум.	Підпис	Дата		51

каналі 2 і в зрошувачах 4. Ємність 1 має шкалу для контролю рівня заправки і витрати води.



1 – дозувальна ємність з водою, 2 – канал із пористою вставкою, 3 – знімна прозора кришка, 4 – зрошувач, 5 – перетин реакційного об'єму, 6 – кювета для збирання розчину

Рис. 1.20 – Елемент робочої ділянки.

Кожен зрошувач має індивідуальну дозувальну ємність і канал 2. Стенд оснащений набором каналів 2 і зрошувачів 4, які підключалися до ємностей 1. Всього в стенді передбачена можливість встановлення від 1 до 12 зрошувачів. Зрошувач 4 моделює ТС, з якого стікає в міжтрубний простір конденсат.

Змінні канали 2 з зрошувачами 4 попередньо випробовувалися і підганяли забезпечення однакових витрат рідини. Досягалося це підбором такого розподілу пористої структури в каналі 2 і на ділянці зрошення 4, при якому краплинна витрата рідини буде рівномірною з усіх отворів зрошувача 4. Таким чином, гідравлічний опір каналу 2 змінювало загальний витрата рідини (ступінь зрошення), а послідовне зменшення гідравлічного опору по

					КРМ.ПОтаЕМ-1.749-03.3.4	Арк.
						52
Змн.	Арк.ш	№ докум.	Підпис	Дата		

ходу руху води на ділянці зрошення визначало рівномірність подачі крапель води в аерозольний потік.

Процес взаємодії крапель води з потоком в перерізі 5 реакційного об'єму спостерігався через знімну прозору кришку 3. Під кожним зрошувачем розміщувалася кювета 6 для збору розчину. Порядний збір розчину дає можливість судити про інтенсивність масоперенесення в залежності від ряду ТС. Вузли робочої ділянки ретельно герметизувалися для запобігання витоків повітря, тобто. зниження похибки у визначенні впливу швидкості потоку.

Системи контролю та управління.

Можливості представлених вище вузлів при значній складності вирішуваних завдань можна реалізувати тільки за наявності надійних систем контролю та управління. Тому, питанням регулювання параметрів при проведенні досліджень у роботі приділено серйозну увагу. Розглянемо ці системи.

Система контролю та регулювання температури газового потоку.

У стенді передбачені стаціонарно встановлені мідьконстантанові термопари для вимірювання температур газового потоку. На вході в робочу ділянку температурне поле вимірюється скануючою термопарою. За характером температурного поля проводилося попереднє судження про рівномірність руху газового потоку та налагодження газорозподільних лопаток. Сигнали від термопар надходили на автоматизовану систему збирання та реєстрації інформації. Стабілізація температури газового потоку здійснювалася вручну шляхом зміни напруги живлення спіралі електрокалорифера. Для цього було зібрано блок живлення, який включав 2 ЛАТри, укомплектовані амперметрами та вольтметрами. Потужність спіралі електрокалорифера складала 1,8 кВт. За показаннями термопар робилося

					КРМ.ПОтаЕМ-1.749-03.3.4	Арк.
						53
Змн.	Арк.ш	№ докум.	Підпис	Дата		

висновок про досягнення встановленого теплового режиму, про рівень температури в досвіді.

Система контролю та управління швидкістю потоку.

Коректне вимірювання швидкості потоку забезпечувала система із профільованого сопла Лавалю та мікроманометра ММН1. Оперативний контроль здійснювався за показаннями автономного цифрового анемометра АП1, крильчатий датчик якого використовувався при вимірюваннях швидкості в межах 0,3–5 м/с, а чашковий – 1–5 м/с. Ціна поділу цифрового індикатора 0,01 м/с при використанні крильчастого датчика анемометра та 0,1 м/с – чашкового. Для якісного аналізу поля швидкостей при вході в робочу ділянку використовувався термоанемометр, скануючий датчик якого репрезентував оперативно значення локальних швидкостей потоку по перерізу газоходу. Саме за цими значеннями і проводилося остаточне спрямування повітряного потоку за допомогою газорозподільних лопаток. Таким чином, термоанемометр використовувався при налагодженні стенду, АП1 при усуненні витоків повітря через нещільності, а профільований колектор з соплом Лавалю для визначення швидкості потоку в дослідах.

Зміна продуктивності вентилятора здійснювалася за допомогою засувки, встановленої на всмоктувальній лінії нагнітача. Засувка мала секторний фіксатор положення, що дозволяло в експериментах оперативно переходити на наступний режим. Коригування базового значення витрати можливе зміною обертів валу вентилятора.

Система контролю та регулювання продуктивності дозатора пилу.

Контроль витрати пилу здійснювався щодо зниження рівня касети (рис. 1.17). Ступінчасте регулювання продуктивності досягалося зміною сита в дозаторі пилу, а оперативне управління – зміною напруги живлення електромагніту вібратора. Електроживлення вібратору здійснювалося від автотрансформатора типу ЛАТР.

					КРМ.ПОтаЕМ-1.749-03.3.4	Арк.
						54
Змн.	Арк.ш	№ докум.	Підпис	Дата		

Система контролю та регулювання вологовмісту в потоці.

Вологовміст у потоці визначалося за психрометричною різницею температур, за показаннями «сухий» і «микрою» термопар. Сигнали цих термодатчиків надходили на автоматизований вимірювальний комплекс.

«Мокра» термопара мала оригінальну конструкцію, розроблену в [21]. Умови адіабатного випаровування з поверхні спаю термопари створювалися за рахунок постійного підживлення цієї поверхні водою зі спеціального балончика за допомогою капілярно-пористого гніту.

Зміна вмісту вологи в потоці проводилася шляхом регулювання продуктивності парогенератора (рис. 1.17), що досягалося коригуванням напруги живлення на електронагрівачі. Останній підключався до блоку живлення, опис якого наведено вище. Потужність, що споживається охоронним нагрівачем, контролювалася і регулювалася за допомогою прецизійного джерела стабілізованого живлення Б5-47. Технічно завданням управління охоронним нагрівачем було підтримання температури зовнішньої поверхні теплоізолюючої прокладки (розміщеної між основним та охоронним нагрівачами) на рівні температури її внутрішньої поверхні.

Система автоматизованого збору та реєстрації інформації.

Одним із головних моментів проведення експериментального дослідження є достовірність отриманих даних. Наявність людського фактору ставить під сумнів такий аспект, що вимагає вживати заходів по усуненню негативного впливу цього фактору. Автоматизація збору даних під час експерименту є досить вдалою спробою гарантувати достатньо високу достовірність отриманих результатів. Це, в свою чергу, дає змогу провести більш точні розрахунки та отримати адекватну модель апарату, що з більшою точністю буде проводити розрахунок його продуктивності при заданих певних значеннях вхідних параметрів.

					КРМ.ПОтаЕМ-1.749-03.3.4	Арк.
						55
Змн.	Арк.ш	№ докум.	Підпис	Дата		

Автоматизація збору даних під час дослідження процесу випарювання була реалізована з використанням наступних технічних та програмних засобів:

- контролер Arduino Nano (ATmega328);
- датчик температури Dallas DS 18B20;
- планшет CHUWI CW1506 (ОС Windows 8.1);
- SCADA-система;
- графічне середовище програмування.

На першому етапі процесу автоматизації здійснювалося програмування контролера (рис. 1.21), головним завданням якого було узгодження сигналів, що надходять від датчиків температур.

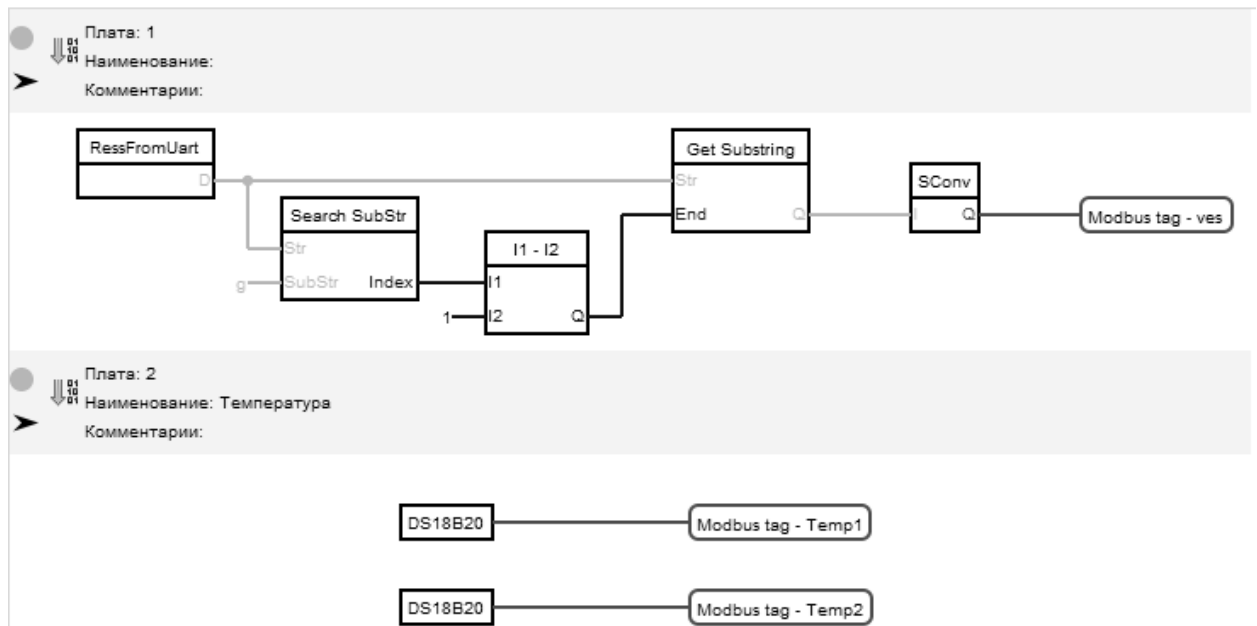


Рис. 1.21 – Вікно середовища програмування.

Другий етап полягав у створенні SCADA-системи для візуалізації зміни параметрів, що реєструвалися в ході дослідження процесу випарювання. Другим, не менш важливим завданням SCADA-системи була можливість експорту даних для подальшої їх обробки.

Порядок проведення дослідів.

Експериментальні дослідження включали такі етапи:

					КРМ.ПОтаЕМ-1.749-03.3.4	Арк.
Змн.	Арк.ш	№ докум.	Підпис	Дата		56

- збирання, герметизація та налагодження вузлів;
- тарування змінних елементів та їх встановлення на стенді;
- підготовка стенду до роботи, завантаження дозаторів;
- проведення досвіду та реєстрація параметрів.

Питання складання та налагодження вузлів стенду обговорювалися вище, тому зупинимося на таруванні змінних елементів та підготовці їх до роботи.

Система дозування пилу.

У касету для пилу засипається сухий порошок досліджуваного продукту. Касета зважувалася на аналітичних вагах Radwag AS 220/C, діапазон вимірювання яких 0–200 г а ціна поділу 0,0001 г. За різницею ваги порожньої та заповненої касети визначалася маса пилу, яка подавалася в газохід робочої ділянки, в аерозольний потік. За допомогою одно-, дво- і тришарових (виконаних з сіток) сит досягалися фіксовані значення витрати пилу, тобто. продуктивності дозатора. Звичайно, ця продуктивність визначалася, також, і структурними характеристиками пилу. Результати тарування дозатора представлені у таблиці 1.15.

Таблиця 1.15

Тарування дозатора пилу

Продукт	Продуктивність дозатора, М, мг/с		
	М ₁	М ₂	М ₃
Кава	21,107	3,306	1,267

Система зрошення.

Кожен змінний вузол системи мав мірну ємність зі шкалою 0–20 мл із ціною поділу 2 мл. Всі змінні вузли попередньо готувалися за методикою, викладеною вище. Готові вузли проходили тарування, результати якого наведено в таблиці 1.16.

Таблиця 1.16

Результати тарування системи зрошення

	G_1	G_2	G_3	G_4	G_5
Витрати води, г/с	10	6,7	3,3	1,7	0,6

Таким чином, зміна ключового параметра у дослідях забезпечувалася більш ніж на порядок.

Система нагнітання газового потоку.

Аеродинамічний опір газового кільця змінювалося за допомогою заслінки, яка мала ряд фіксованих положень. Це забезпечувало в дослідях простий перехід з рівня витрати на інший, тобто. ступінчаста зміна швидкості потоку, яка для перерізу робочої ділянки перераховувалася по співвідношенню суцільності. Результати тарування системи наведено в таблиці 1.17.

Таблиця 1.17

Результати тарування системи нагнітання

	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5
Витрати повітря $V \times 10^3, \text{м}^3/\text{с}$	2,38	4,56	6,12	6,92	7,32

Схема визначення концентрації розчину.

Результатом взаємодії крапель води з частинками пилу є зміна концентрації розчину в кюветі. Коректне вимірювання концентрації розчину пов'язане з вирішенням двох завдань. Перша визначається тим, що шкала рефрактометра дана в одиницях показника заломлення, а необхідні знати концентрацію. У дослідях використовувався рефрактометр ІРФ-454Б з межами вимірів 1,330–1,530 і ціною розподілу 0,001. Перерахунок концентрацію значення показника заломлення n проводився за співвідношенням:

					КРМ.ПОтаЕМ-1.749-03.3.4	Арк.
						58
Змн.	Арк.ш	№ докум.	Підпис	Дата		

$$X = \frac{0,95 - 0}{1,53 - 1,33} (n - 1,33) \times 10^{-2} \quad (1.39)$$

В (1.39) 0–0,95 – діапазон концентрацій, 1,33–1,53 – діапазон показників заломлення для розчинів.

Потім концентрація перераховувалася в масу пилу, що перейшла в розчин:

$$M = V_p * X, \quad (1.40)$$

де V_p – маса рідини у кюветі.

Потім, за співвідношенням маси пилу в кюветі і загальної маси пилу, що надійшла з дозатора в газохід, визначається відносна масова частка пилу m , розчинена конденсатом досліджуваного ряду ТС.

Друге завдання зводилося до того, щоб провести тарування рефрактометра РФ–454Б на розчинах, що вивчаються. Для цього визначалася залежність показників заломлення від концентрацій розчинів цукру, кави, соку. Концентрації розчинів відомі, так як на аналітичних вагах Radwag AS 220/С зважувалися його компоненти. Результати тарування представлені у таблиці 1.18.

Таблиця 1.18

Тарування рефрактометра

Концентрація, %	1	2	3	4	5	10
Показник заломлення	1,3385	1,3450	1,34625	1,34925	1,3550	1,36875

Організація дослідю.

Спочатку включалися вентилятор та нагрівач (за необхідності і парогенератор). Після досягнення теплового режиму, що встановився, одночасно проводилося включення дозаторів пилу і краплинного зрошення.

У момент повного спорожнення касети з пилом досвід припинявся, витягувалися кювети, вимірювалася вага в них розчину та концентрації.

Результати дослідів з міжфазного масоперенесення.

Досліди проводилися за наведеною вище методикою на стенді (рис. 1.17). Підготовка систем експериментального стенду проводилася за вищевказаною схемою. У дослідях змінювалися: витрати (швидкість потоку) та їх температура, продуктивність дозатора пилу та зрошувача (таблиця 1.19).

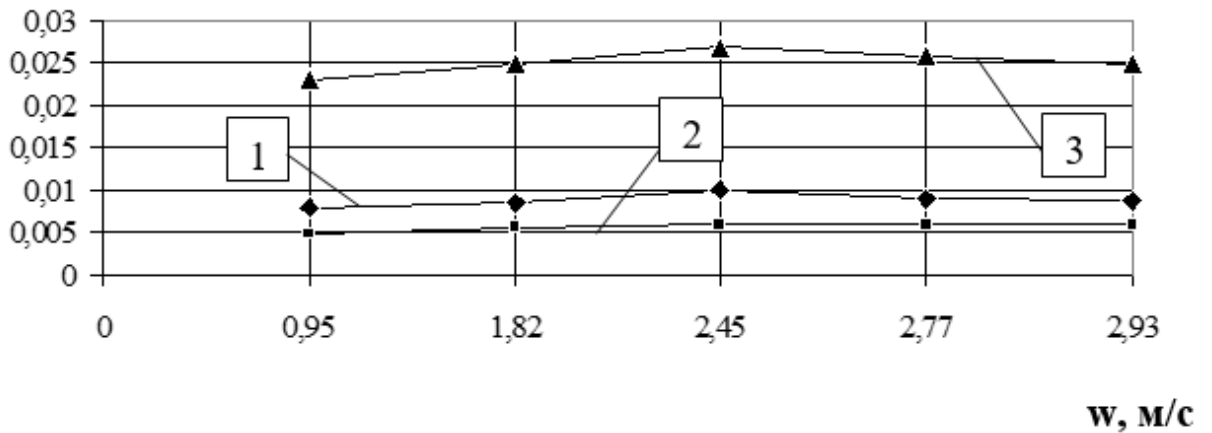
Таблиця 1.19

Зведення даних по міжфазному масоперенесенню

Номер дослідів	Параметри потоку				Інтенсивність масоперенесення		
	w, м/с	Re*10 ⁻⁵	C*10 ³	X	D*10 ⁹ , м ² /с	β*10 ⁶ , м/с	St _m *10 ⁷
1	0,95	0,947	0,46	3,65	0,188	0,26	2,74
2	1,82	1,81	0,24	1,91	0,188	0,27	1,48
3	2,45	2,44	0,18	1,42	0,188	0,29	1,18
4	0,95	0,468	1,21	3,65	0,205	0,17	1,79
5	1,82	0,898	0,63	1,91	0,205	0,18	0,989
6	2,45	1,21	0,47	1,42	0,205	0,19	0,776
7	0,95	0,192	7,7	3,65	0,247	0,75	7,89
8	1,82	0,369	4,03	1,91	0,247	0,82	4,51
9	2,45	0,496	2,99	1,42	0,247	0,88	3,59
10	0,95	1,01	0,46	2,45	0,176	0,21	2,21
11	1,82	1,93	0,24	1,28	0,176	0,22	1,21
12	2,45	2,6	0,18	0,95	0,176	0,29	1,18
13	0,95	1,36	0,46	1,2	0,182	0,21	2,21
14	1,82	2,61	0,24	0,63	0,182	0,22	1,21
15	2,45	3,51	0,18	0,47	0,182	0,28	1,14
16	0,95	1,42	0,46	0,62	0,188	0,17	1,79
17	1,82	2,73	0,24	0,32	0,188	0,18	0,989
18	2,45	3,67	0,18	0,24	0,188	0,21	0,857

Інтенсивність масоперенесення характеризувалася ступенем підвищення концентрації розчину, зібраного в кюветі. Окремі залежності щодо впливу параметрів пилу, режимів паропилогазового потоку представлені на рисунках 1.22, 1.23.

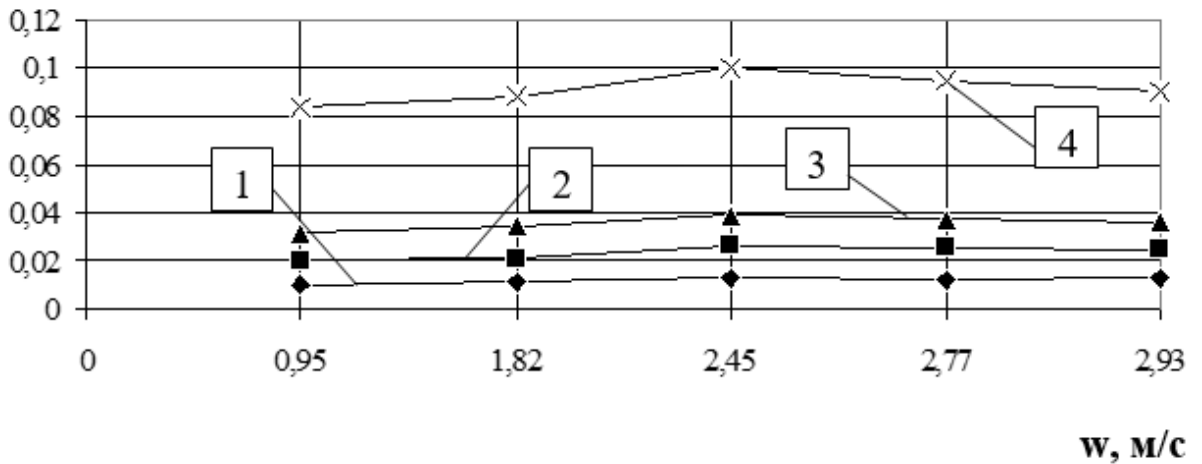
$\Delta X, \%$



1 – досліді 1-3, 2 – досліді 4-6, 3 – досліді 7-9

Рис. 1.22 – Вплив швидкості потоку, режимів зрошення та запилення на інтенсивність масообміну.

$\Delta X, \%$



1 – досліді 10-12, 2 – досліді 13-15, 3 – досліді 16-18, 4 – досліді 19-21

Рис. 1.23 – Вплив швидкості потоку, режимів зрошення та запилення на інтенсивність масообміну.

9. Економічна частина.

Вихідні дані для розрахунку термосифонного утилізатора.

$t_{\Gamma} = 108^{\circ}\text{C}$ – температура гарячого потоку на вході до утилізатора;

$t_{\Gamma}^{\prime} = 70^{\circ}\text{C}$ – температура гарячого потоку на виході з утилізатора;

Змн.	Арк.ш	№ докум.	Підпис	Дата

КРМ.ПОтаЕМ-1.749-03.3.4

Арк.

61

$t_x = 22^\circ\text{C}$ – температура холодного повітря на вході до утилізатора;
 $t_x' = 60^\circ\text{C}$ – температура холодного повітря на виході з утилізатора;
 $V_x = 3 \text{ кг/с} = 2,74 \text{ м}^3/\text{с}$ – витрати холодного повітря.

Вибір теплообмінника утилізатора.

Розраховуємо повний температурний напір, $^\circ\text{C}$:

$$\Delta = t_2' - t_x' = 108 - 22 = 86^\circ\text{C}$$

Холодний теплоносіє:

Визначаємо зміну температури холодного теплоносія, $^\circ\text{C}$:

$$\delta_x = (0,4 \dots 0,7)\Delta = 0,6 * 86 = 51,6^\circ\text{C}$$

Визначаємо середню температуру холодного теплоносія, $^\circ\text{C}$:

$$\bar{t}_x = t_x' + 0,5\delta_x = 22 + 0,5 * 51,6 = 47,8^\circ\text{C}$$

Визначаємо густину і теплоємність холодного теплоносія

$$\rho_x = 1,093 \text{ кг/м}^3; C_{px} = 1005 \text{ Дж/кг К}$$

Визначаємо кількість теплоти, що утилізується, Вт:

$$Q_y^n = V_x \rho_x c_{px} \delta_x = 2,74 * 1,093 * 1005 * 51,6 = 155305,4$$

Приймаємо коефіцієнт $K_p = 100 \text{ Вт/(кгК)}$.

Визначаємо площу поверхні теплопередачі калорифера, м^2 :

$$F_n = \frac{Q_y^n}{k_n 0,5\Delta} = \frac{155305,4}{100 * 0,5 * 86} = 36,1$$

По знайдений площі з типорозмірного ряду вибираємо теплообмінник:

- тип теплогенератора ТГ-2-100,
- число ТС – 100 шт,
- число рядів ТС – 6 шт,
- поверхня теплопередачі – 50 м^2 ,

					КРМ.ПОтаЕМ-1.749-03.3.4	Арк.
Змн.	Арк.ш	№ докум.	Підпис	Дата		62

– площа живого перетину – 0,61 м².

Проводимо перевірочний розрахунок.

Кількість теплоти, що віддається гарячим теплоносієм, Вт:

$$Q_y = V_2 \rho_2 \delta_2 C_{p2} = 2,5 * 1,04 * 74,5 * 1080 = 209196$$

Значення повних теплоємностей потоків визначаємо за формулою, Дж/(К*с):

$$C_x = V_x \rho_x c_{px} = 2,74 * 1,093 * 1005 = 3009,8$$

$$C_2 = V_2 \rho_2 c_{p2} = 2,5 * 1,04 * 1080 = 2808$$

Розрахункова зміна температури холодного теплоносія, °С:

$$\delta_x^p = \frac{Q_y}{C_x} = \frac{209196}{3009,8} = 69,5$$

Коефіцієнт теплопередачі, Вт/м²К:

$$K = \frac{Q_y}{(F_u + F_k) \Theta} = \frac{209196}{(51,4 + 55,4) * 48} = 40,9$$

Розрахунок економічної ефективності застосування утилізатора.

Вартість зекономленого тепла складе:

$$\Delta U_m = Q_y \tau_p Z_T$$

де τ_p – час роботи, с,

$$\tau_p = 200 * 8 * 3600 = 5760000$$

Z_T – вартість енергії, грн = 734 грн/ГДж.

$$\Delta U_m = Q_y \tau_p Z_T = 209196 * 5760000 * 0,000000734 = 884447,2$$

Енергія, необхідна на подолання аеродинамічного опору, Дж:

					КРМ.ПОтаЕМ-1.749-03.3.4	Арк.
						63
Змн.	Арк.ш	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\mathcal{E}_x = \frac{V_x \Delta P_x \tau_P}{\eta_B} = \frac{2,74 * 1,093 * 107,2 * 5760000}{0,7} = 2641739278,6$$

де V – витрати теплоносія, кг/с;

η_B – КПД вентилятора.

$$\mathcal{E}_2 = \frac{V_2 \Delta P_2 \tau_P}{\eta_B} = \frac{2,5 * 1,04 * 96,7 * 5760000}{0,7} = 2068827428,6$$

Додаткові витрати на привід вентилятора:

$$\Delta I = (\mathcal{E}_2 + \mathcal{E}_x) Z_3 = (2068827428,57 + 2641739278,6) * 0,000000734 = 3457,6$$

Капітальні витрати складуть:

$$K = n_p N_p Z_{TC} + K_k + K_m$$

де Z_{TC} – вартість однієї теплової труби, грн = 800 грн

Вартість корпусу утилізатора, грн:

$$K_k = 0,1(n_p N_p Z_{TC}) = 0,1(6 * 17 * 800) = 8160$$

вартість монтажу утилізатора, грн:

$$K_m = 0,2(n_p N_p Z_{TC} + K_k) = 0,2(6 * 17 * 800 + 8160) = 17952$$

$$K = n_p N_p Z_{TC} + K_k + K_m = 6 * 17 * 800 + 8160 + 17952 = 107712$$

Прибуток становитиме:

$$\Pi = \Delta U_n - \Delta I - 0,15K = 884447,2 - 3457,6 - 0,15 * 107712 = 864832,8$$

Строк окупності, років:

$$\tau_o = K / \Pi = \frac{107712}{864832,8} = 0,1$$

					КРМ.ПОтаЕМ-1.749-03.3.4	Арк.
Змн.	Арк.ш	№ докум.	Підпис	Дата		64

10. Техніка безпеки при обслуговуванні і ремонті тепловикористальних установок і обладнання.

Обслуговування тепловикористовувальних установок та обладнання.

Для забезпечення безпечної експлуатації тепловикористовувальні установки, теплові мережі та системи повинні бути обладнані арматурою та приладами відповідно до Правил технічної експлуатації тепловикористовуючих установок та теплових мереж.

При експлуатації тепловикористовуючих установок, де за технологією виробництва неприпустима різка зміна параметрів або скорочення теплопостачання, що може спричинити пожежу, вибух тощо, адміністрацією повинні бути розроблені заходи, що виключають такі явища.

Експлуатація таких установок провадиться за спеціальною інструкцією, розробленою та затвердженою адміністрацією та погодженою з відповідними відомствами (організаціями) в установленому порядку.

Кожен робітник повинен виконувати лише доручену йому роботу. Перехід на інше робоче місце проводиться тільки за дозволом начальника цеху (зміни) після отримання відповідного інструктажу.

Забороняється залишати робоче місце на непрацюючому та працюючому обладнанні.

У разі хвороби або поганого стану здоров'я робітник зобов'язаний повідомити начальника зміни.

Робоче місце має утримуватися у чистоті та порядку. Освітленість робочих місць має відповідати СНтаП II-A.9-71. «Штучне освітлення. Норми проектування».

При включенні тепловикористовуючої установки в роботу повинен здійснюватися повільне прогрівання паропроводу та апарату шляхом поступового відкриття запірного вентиля (засувки або автоматичного клапана) на паропроводі. Швидкість підйому тиску та температури в

					КРМ.ПОтаЕМ-1.749-03.3.4	Арк.
						65
Змн.	Арк.ш	№ докум.	Підпис	Дата		

установці повинна. визначатися інструкцією щодо безпечного обслуговування апарату. При появі навіть слабких гідравлічних ударів або вібрації доступ пари в установку повинен бути скорочений до зникнення шляхом прикриття запірного органу. Після зникнення гідравлічних ударів та вібрації підйом тиску та температури може продовжуватися зі швидкістю, що не викликає нової появи.

Пуск обладнання повинен проводитися лише після ретельної перевірки справності обладнання.

Перед пуском обладнання необхідно переконатися у відсутності в небезпечних місцях людей, сторонніх предметів та дати попереджувальний сигнал, переконатися у справності кнопки «Стоп» шляхом пробного пуску.

Чистити, змащувати та ремонтувати обладнання з рушіями, а також проводити внутрішній огляд його дозволяється тільки після того, як обладнання зупинено, з шківів знято приводні ремені та на розподільних щитах та рубильниках, електропускових механізмах вивішено плакат: «Не включати: працюють люди» та знято запобіжники на щиті.

Пускати обладнання після його зупинки має право лише працівник, який робив зупинку або прийняв за зміною його обов'язки та попередив про стан справ. Час зупинки та причини, а також включення тепловикористовуючої установки та обладнання відзначається в оперативному журналі.

У тих випадках, коли в установку, що тепловикористовується, вводяться або в ній можуть утворитися вогне-, вибухонебезпечні або отруйні гази, необхідно надійно запобігти можливості попадання таких газів або пар у робоче приміщення шляхом відведення назовні труб від запобіжних клапанів або вибухових пластин.

Над установками з паровиділенням або шкідливими газами, що виділяють, повинні встановлюватися витяжні парасольки або примусова витяжна вентиляція. Забороняється працювати з вимкненою витяжною

					КРМ.ПОтаЕМ-1.749-03.3.4	Арк.
						66
Змн.	Арк.ш	№ докум.	Підпис	Дата		

вентиляцією при вивантаженні або завантаженні тепловикористовуючої установки технологічним продуктом (масою).

Теплові установки, апарати, що працюють з отруйним або вибухонебезпечним рідким або газовим середовищем, повинні мати на підвідній лінії від насоса або компресора зворотний клапан, що автоматично закривається тиском з установки.

Для виключення шкідливого впливу шуму, що виникає при випуску пари з тепловикористовуючої установки в атмосферу, при неможливості його використання перепуском в інших тепловикористовуючих установках, а також при «здувці» і спрацьовуванні запобіжних клапанів на кінці кожної вихлопної лінії повинні встановлюватися спеціальні шумопоглиначі.

Частини машин і механізмів, що рухаються і обертаються, розташовані на висоті менше 2 м від рівня підлоги або робочих майданчиків, повинні мати суцільну або сітчасту огорожу.

Розміри осередків не повинні перевищувати 25x25 мм. Огородження повинні підвішуватися на шарнірах. Глухе кріплення огорож допускається за умови влаштування в них вікон з шарнірними кришками (дверцями) для доступу до частин машини, що потребують частого обслуговування.

Усі механізми, що мають робітник і холостий шків, повинні мати пристрої для переведення ременів з робітника на холосте положення, обладнане запірними пристроями, що усувають мимовільний перехід ременя з холостого на робочий шків.

Забороняється надягання, зняття та поправка на ходу приводних ременів, а також підсипання каніфолі під ремені, що буксують.

Забороняється ставати на бар'єри майданчиків, запобіжні кожухи муфт, підшипників та ін., а також на трубопроводи, конструкції та перекриття, не призначені для проходу по них і не мають спеціальних огорож та поручнів.

При користуванні паровим або водяним шлангом під час обдування, обмивання обладнання необхідно перевірити міцність кріплення шлангу до

					КРМ.ПОтаЕМ-1.749-03.3.4	Арк.
						67
Змн.	Арк.ш	№ докум.	Підпис	Дата		

трубопроводу та наконечника до шлангу; наконечник має бути теплоізолюваний на довжині не менше 1 м.

Ремонт тепловикористовувальних установок та обладнання.

Усі роботи ремонтного або монтажного характеру (у тому числі і будівельно-монтажні) у приміщеннях, камерах та тунелях, де розташовані діючі теплові установки, теплопроводи або встановлено інше діюче обладнання, можуть виконуватись лише з дозволу начальника цеху (дільниці) або його заступника.

Тепловикористовуюча установка, що підлягає ремонту, щоб уникнути попадання пари або гарячої води, повинна бути надійно відключена як з боку суміжних трубопроводів і обладнання, так і з боку дренажних і обвідних ліній.

Вся арматура, що відключає, повинна бути замкнена на ланцюг із замком і на ній повинні підвішуватися плакати «Не відкривати: працюють люди». Ключі від замків повинні зберігатися у майстра (начальника зміни) цеху, ділянки та передаватися за чергуванням з відповідним записом в оперативному журналі.

З електроприводів засувки має бути знята напруга (знято запобіжники) та вивішено плакат «Не включати: працюють люди».

Забороняється виробництво ремонту устаткування без вживання передбачених заходів проти включення їх у роботу (пуск двигуна, подача пари, води та інших.).

За відсутності пристроїв, що дозволяють спорожнити обладнання, що відключається, і трубопроводи попередньо, спорожнення їх слід проводити ослабленням частини болтів фланцевого з'єднання з боку, протилежної до місця знаходження робітника. Розкриття фланців при цьому слід проводити обережно за обов'язкової присутності відповідального керівника робіт.

При ослабленні болтів фланцевих з'єднань необхідно дотримуватися обережності з тим, щоб пари, що знаходяться всередині теплоізолюючої

					КРМ.ПОтаЕМ-1.749-03.3.4	Арк.
						68
Змн.	Арк.ш	№ докум.	Підпис	Дата		

установки і трубопроводів, і гаряча вода не могли заподіяти опіку робітникам: прямі дренажі на обладнанні, що ремонтується, повинні бути відкриті з тим, щоб н у разі нещільності запірної арматури пари гаряча вода не могли накопичитися у відключених тепловикористовуючих установках і в трубопроводах, що примикають до них.

Роботи з ремонту установок, що використовують тепло, повинні проводитися під керівництвом майстра (виробника робіт), який добре знає установки, комунікацію трубопроводів, їх арматуру, призначення, правила обслуговування та ремонту.

При недостатній щільності відключаючої арматури устаткування, що ремонтується, повинно бути відокремлене від діючого за допомогою заглушок. Товщина заглушок повинна відповідати тиску робочого середовища. Для забезпечення швидкого визначення місця встановлення заглушок, останні повинні мати добре видимі хвостовки.

Після закінчення ремонтних робіт відповідальний керівник і виробник робіт спільно з допускаючим (начальником зміни) цеху, дільниці повинен особисто переконатися в тому, що всі роботи дійсно закінчені, заглушки зняті, з дільниці, що ремонтується, видалений робочий персонал і робоче місце: прибрано. Тільки після цього можна зняти замки з вентилів і засувок і подати напругу на електроприводи.

Підтяжку болтів фланцевих з'єднань після ремонту допускається проводити при тиску не вище 3 кгс/см².

Увімкнення тепловикористовувальних установок після закінчення ремонтних робіт може бути здійснено лише з дозволу начальника цеху або його заступника [22].

					КРМ.ПОтаЕМ-1.749-03.3.4	Арк.
						69
Змн.	Арк.ш	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

1. Розроблена конструкція термосифонного утилізатора в лінії виробництва розчинної кави дозволяє суттєво знизити теплові втрати разом з відпрацьованим теплоносієм після розпилювальної сушарки. За рахунок рекуперації теплової енергії, вартість якої на сьогоднішній день стрімко зросла, термін окупності утилізатора становить менше двох місяців.

2. Можливість термосифонного утилізатора вловлювати кавовий пил з відпрацьованого теплоносія не лише підвищує ресурсоефективність процесу виробництва розчинної кави, а й дає змогу отримати абсолютно новий продукт – рідку каву, яка може мати комерційний інтерес на ринку кави.

3. В ході аналітичного та експериментального моделювання процесу міжфазного масоперенесення було отримано критеріальна рівняння, що дозволяє розраховувати термосифонний утилізатор для виробництва розчинної кави в певних межах значень режимних параметрів.

					КРМ.ПОтаЕМ-1.749-03.3.4	Арк.
						70
Змн.	Арк.ш	№ докум.	Підпис	Дата		

Список літератури.

1. Терзієв С.Г. Енергетичний моніторинг харчоконцентратного виробництва // Наукові праці ОНАХТ.– Одеса, 2008. – Вип. 32. – С. 300–333.
2. Терзієв С.Г. Системний аналіз потоків сировини та енергетичних ресурсів в технологіях харчових концентратів // Харчова наука і технологія. – 2011. – №1(14). – С. 98-102.
3. Терзієв С.Г. Інноваційні теплотехнології виробництва кавопродуктів. *Scientific Works*, 2017, 47. <https://doi.org/10.15673/swonaft.v1i47.348>
4. Електронний ресурс: <https://www.mordorintelligence.com/ru/industry-reports/instant-coffee-market> (Дата звернення: 23.03.2024 р.).
5. Електронний ресурс: http://ni.biz.ua/5/5_12/5_124854_tehnologicheskaya-liniya-proizvodstva-rastitelnogo-masla-iz-semyan-podsolnechnika.html (Дата звернення: 25.03.2024 р.).
6. Бурдо О.Г. *Еволюція сушильних установок*. Одеса: Польшграф, 2010. — 368 с.
7. Гайда С., Бурдо О.Г. Шляхи вирішення екологічних проблем при сушінні харчових продуктів. / XIII Międzynarodowa Konferencja Naukowa z cyklu: Problemy kształcenia i doskonalenia nauczycieli techniki. - Turawa , 8 - 9 czerwiec.- 1995.
8. Безродный М.К., Волков С.С., Иванов В.Б. Термосифонные котлы-утилизаторы, работающие на отходящих газах печей цветной металлургии // Пром. энергетика. – 1989. – № 2. – С. 42–45.
9. Гайда С., Зиков О.В., Айда Амор. Утилізація теплоти в зерносушінні // Удосконалення існуючих і розробка нових технологій для харчової та зернопереробної промисловості. / Наук. праці ОДАХТ, Одеса.- 2001.- Вип.21.- С.162-167.

					КРМ.ПОтаЕМ-1.749-03.3.4	Арк.
						71
Змн.	Арк.ш	№ докум.	Підпис	Дата		

10. Спосіб утилізації тепла та пилу продукту при сушінні продукту: пат. 26470 Україна: F26B 3/02. № 93111384; заявл. 16.03.1993; опубл. 11.10.1999, Бюл. № 6. 8 с.
11. Бурдо О.Г., Крицкий В.И., Мохамед Абдель Вирас Хабиб. Теплообменник на тепловых трубах для предварительного подогрева зерна перед сушкой. // Разработка и совершенствование технологических процессов , машин и оборудования для производства, хранения и транспортировки продуктов питания. - М., 1987.- С.29-30.
12. Бурдо О.Г., Крицкий В.И., Коновалов С.В. Испытания термосифонного воздухоподогревателя. // Пром. энергетика. - 1990.- №5.- С.31-32.
13. Бурдо О.Г., Станевский О.Л., Айда Амор. Тепломассоперенос аэрозольных потоков в термосифонных пучках // Труды Межд. Форума по тепломассобмену. - Т.10., – Минск. 2000. –С.179-183.
14. Бурдо О.Г., Терзієв С.Г., Айда Амор. Розрахунок тепломасоутилізаторів в умовах паропилегазового теплоносія. //Удосконалення існуючих і розробка нових технологій для харчової та зернопереробної промисловості. / Наук. праці ОДАХТ, Одеса. - 2001.-Вип.22. - С.162-167.
15. Бурдо О.Г., Терзиев С.Г., Айда Амор. Сопряженные процессы тепломассообмена и аэродинамика в термосифонных аппаратах. //Межд. науч.-практич. конф. “Региональные проблемы энергосбережения в децентрализованной теплоэнергетике”, г. Киев. 2000.
16. Бурдо О.Г., Терзиев С.Г., Перетьяка С.Н. Тепломассоперенос в утилизаторах теплоты паропылегазовых выбросов пищевых производств. // Труды Межд. Форума по тепломассобмену. - Т.10., –Минск. 1996. – С.173-178.
17. Гамолич В.Я., Гайда С., Терземан Е.Ф. Объемный коэффициент теплоотдачи зернового слоя. // Проблеми та перспективи розвитку виробництва та споживання хлібопродуктів / Наук. праці ОДАХТ, Одеса, 1997.-Т.6.- С.41-43.

					КРМ.ПОтаЕМ-1.749-03.3.4	Арк.
						72
Змн.	Арк.ш	№ докум.	Підпис	Дата		

18. Експлуатаційна надійність теплоутилізаційної апаратури при сушінні харчових продуктів. / Станевський О.Л., Саламаха В.І., Зиков О.В. Айда Амор // “Обладнання та технології харчових виробництв”. Тем. збірник наук. праць.– Донецьк.– 1999.– С.134–138.
19. Кутателадзе С.С. *Основы теории теплообмена.* - Новосибирск, 1970. - 456 с.
20. Станевский О.Л., Гайда С. Компьютерное моделирование теплового состояния производственного цеха. Экология человека и проблемы воспитания молодых ученых./ Науч. труды ОГАПТ, Одесса. - 1997.- Ч.2. - С. 390-394.
21. Пехович А.И., Жидких В.М. *Расчеты теплового режима твердых тел.* - Л. 1976. - 352 с.
22. Електронний ресурс: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z2127-13#Text>
(Дата звернення: 24.04.2024 р.).

					КРМ.ПОтаЕМ-1.749-03.3.4	Арк.
Змн.	Арк.ш	№ докум.	Підпис	Дата		73