

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет) Навчально-науковий інженерно-технічний
інститут ім. акад. І.С. Гулого
Кафедра Технологічного обладнання та комп'ютерних технологій
проективання

«До захисту в ЕК»
Директор інституту(декан факультету)
_____ **Сергій БЛАЖЕНКО**
(підпис) (ім'я та прізвище)

« ___ » _____ 20__ р.

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри
_____ **Микола ЯКИМЧУК**
(підпис) (ім'я та прізвище)

« ___ » _____ 20__ р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВРА

зі спеціальності _____ 133 «Галузеве машинобудування»
освітньо-професійної програми Інжиніринг харчових виробництв
на тему: Удосконалення сушильної установки з вихровими потоками
інертного матеріалу з метою інтенсифікації процесу сушіння меланжу

Виконав: здобувач II курсу, групи ОХ-2-3М

_____ **Ковтун Радіон Вадимович**
(прізвище, ім'я, по батькові повністю)

_____ (підпис)

Керівник: Якобчук Роман Леонідович
(прізвище, ім'я, по батькові повністю)

_____ (підпис)

Консультанти _____
(ім'я та прізвище)

_____ (підпис)

_____ (ім'я та прізвище)

_____ (підпис)

_____ (ім'я та прізвище)

_____ (підпис)

Рецензент _____

_____ (ім'я та прізвище)

_____ (підпис)

Я як здобувач(ка) Національного університету харчових технологій розумію і підтримую політику університету з академічної доброчесності. Я не надавав(-ла) і не одержував(-ла) недозволеної допомоги під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Здобувач _____
(підпис)

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Навчально-науковий інженерно-технічний інститут ім. акад. І.С.Гулого
Кафедра Технологічного обладнання та комп'ютерних технологій проектування
Освітній ступінь магістр
Спеціальність 133 «Галузеве машинобудування»
(шифр і назва)
Освітня програма «Інжиніринг харчових виробництв»
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТОКТП
Микола ЯКИМЧУК

“ ” _____ 2024 року

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Ковтун Радіон Вадимович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Удосконалення сушильної установки з вихровими потоками інертного матеріалу з метою інтенсифікації процесу сушіння меланжу

керівник проекту (роботи) Якобчук Роман Леонідович, доц., кандидат тех. наук

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від «20» листопада 2023 р. № 940-кс

2. Строк подання здобувачем роботи « 01 » лютого 2024р.

3. Вихідні дані до роботи 1. Технічний паспорт обладнання.

2. Кресленики обладнання. 3. Навчальна та спеціальна література

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Реферат; Зміст; Вступ; Аналітичний огляд стану питання; Методика проведення досліджень; Дослідна частина та узагальнення результатів; Обґрунтування модернізації; Устрій та принцип роботи модернізованого об'єкту проектування; Розрахункова частина; Підбір конструкційних матеріалів; Технологія машинобудування; Правила монтажу, експлуатації та ремонту обладнання; Автоматичний контроль та управління об'єктом проектування; Заходи з охорони праці; Охорона довкілля; Маркетингове обґрунтування проекту; Висновки; Список використаних джерел; Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

Загальний вигляд обладнання – 1 аркуш, Технологія машинобудування – 1 аркуш, Апаратурно-технічна схема – 1 аркуш, Автоматизація обладнання – 1 аркуш, Складальні одиниці обладнання, НДР – 6 аркушів

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання: «21» листопада 2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	<i>Реферат, зміст</i>	22.11.2023	
2	<i>Вступ</i>	24.11.2023	
3	<i>Аналіз сучасного стану об'єкта дослідження, вибір і обґрунтування напрямку дослідження</i>	28.11.2023	
4	<i>Розробка нового технічного рішення об'єкту дослідження</i>	16.12.2023	
5	<i>Дослідна частина та узагальнення результатів</i>	22.12.2023	
6	<i>Розрахункова частина</i>	02.01.2024	
7	<i>Принципи автоматизованого управління об'єктом проектування</i>	12.01.2024	
8	<i>Заходи з охорони праці та охорони довкілля</i>	15.01.2024	
9	<i>Маркетингове обґрунтування проекту висновки</i>	23.01.2024	
10	<i>Висновки</i>	29.01.2024	
11	<i>Список використаних літературних джерел</i>	29.01.2024	
12	<i>Графічна частина: 5 аркушів формату А1</i>	30.01.2024	
13	<i>Подача кваліфікаційної роботи на кафедру</i>	01.02.2024	
14			

Здобувач _____
(підпис)

Радіон КОВТУН
(ім'я та прізвище)

Керівник роботи _____
(підпис)

Роман ЯКОБЧУК
(ім'я та прізвище)

Реферат

У цій магістерській роботі було удосконалено сушильну установку для сушіння меланжу за допомогою вихрових потоків інертного матеріалу.

Починаючи з аналізу існуючих конструкцій аналогічного призначення, проект починається з обґрунтування оптимізації сушильного апарату цього типу. Дослідження передбачає визначення оптимального матеріалу, обґрунтування його використання, формування безактивних частинок і визначення висоти області активного теплообміну під час процесу сушіння суміші в вихровому шарі бездіяльного матеріалу. В кінці роботи наведено маркетингове обґрунтування проекту, яке показує, наскільки вигідним буде впровадження цієї установки.

У результаті проведених розрахунків була поліпшена конструкція сушильної установки, яка використовує вихрові потоки інертного матеріалу. У дипломному проекті також розглядаються вимоги, пов'язані з установкою, функціонуванням та відновленням, а також визначаються основні заходи для забезпечення безпеки праці.

Кваліфікаційна робота складається з аркушів пояснювальної записки та 10 листи формату А1, на яких зображено технічні та наукові рішення.

Ключові слова: сушіння, рідкі продукти, вихровий шар, інертний матеріал, сушильна установка.

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ	<i>Технічне узгодження</i> Якимчук Р. Л.	<i>Вид документа</i> Пояснювальна записка		<i>Статус документа</i>		
<i>Власник документа</i> НУХТ	<i>Разробник документа</i> Кодтун Р.В.	<i>Назва, додаткова назва</i> Реферат	221872.КР.12.000.ПЗ			
	<i>Документ затверджено</i> Якимчук М.В.		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> UA	<i>Аркуш</i> 1/2

Abstract

In this master's thesis, the drying of the melange was developed with the help of vortex flows of inert material.

Starting with the analysis of existing structures of a similar purpose, the project begins with the justification of the development of this type of dryer. The study involves determining the optimal material, justifying its use, forming inactive particles and determining the height of the area of active heat exchange during the process of drying the mixture in a vortex layer of inactive material. At the end of the work, the marketing justification of the project is given, which shows how profitable the implementation of this installation will be.

As a result of the calculations, a new design of the drying unit was developed, which uses vortex flows of inert material. The diploma project also considers the requirements related to installation, operation and restoration, and also defines the main measures to ensure occupational safety.

The qualification paper consists of sheets of explanatory notes and 10 sheets of A1 format showing technical and scientific solutions.

Key words: drying, liquid products, vortex layer, inert material, drying plant.

ЗМІСТ

	стор.
Реферат.....	3
Вступ.....	5
1. Аналіз сучасного стану об'єкта дослідження, вибір і обґрунтування напрямку дослідження.....	
2. Розробка нового технічного рішення об'єкту дослідження	
3. Дослідна частина та узагальнення результатів	
4. Розрахункова частина	
5. Принципи автоматизованого управління об'єктом проектування ...	
6. Заходи з охорони праці та охорони довкілля	
7. Маркетингове обґрунтування проекту висновки	
Висновки.....	
Список використаних літературних джерел.....	
Специфікації.....	

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ	<i>Технічне узгодження</i> Якимчук Р. Л.	<i>Вид документа</i> Пояснювальна записка	<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i> НУХТ	<i>Розробник документа</i> Кодтун Р.В.	<i>Назва, додаткова назва</i> Зміст	221872.КР.12.000 ПЗ			
	<i>Документ затверджено</i> Якимчук В.М.		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> UA	<i>Аркуш</i> 1/1

ВСТУП

Актуальність теми. Сушіння рідких харчових продуктів є важливим технологічним процесом, який дозволяє отримувати сухі порошкоподібні продукти з заданими властивостями. З ростом попиту на такі продукти виникає необхідність удосконалення існуючих та розробки нових енергоефективних методів та обладнання для сушіння.

Об'єкт дослідження - процес сушіння рідких харчових продуктів у вихровому шарі інертного матеріалу.

Предмет дослідження - процес сушіння яєчного меланжу у вихровому шарі гранул фторопласту.

Мета роботи - дослідження процесу сушіння яєчного меланжу у вихровому шарі фторопластового інертного матеріалу та розробка рекомендацій щодо інтенсифікації цього процесу.

Було вирішено такі завдання, щоб досягти мети роботи:

- проведено аналіз літературних даних щодо процесу сушіння у вихровому шарі інертного матеріалу;
- досліджено вплив параметрів процесу та властивостей інертного матеріалу на ефективність сушіння;
- визначено оптимальні умови проведення процесу сушіння яєчного меланжу;
- запропоновано шляхи інтенсифікації досліджуваного процесу сушіння.

Наукова новизна роботи полягає у встановленні закономірностей процесу сушіння яєчного меланжу у вихровому шарі фторопластового інертного матеріалу та визначенні шляхів інтенсифікації цього процесу.

Практичне значення одержаних результатів полягає в обґрунтуванні раціональних технологічних режимів роботи установки для сушіння рідких харчових продуктів у вихровому шарі інертного матеріалу та вдосконаленні

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ	<i>Технічне узгодження</i> <i>Якобчук Р.Л.</i>	<i>Вид документа</i> <i>Пояснювальна записка</i>		<i>Статус документа</i>		
<i>Власник документа</i> НУХТ	<i>Розробник документа</i> <i>Коблиця Р.В.</i>	<i>Назва, додаткова назва</i> Вступ	221872.КР.12.000 ПЗ			
	<i>Документ затверджено</i> <i>Якимчук М.В.</i>		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> UA	<i>Аркуш</i> 1/2

конструкції сушарки.

1. Встановлено оптимальний розмір частинок інертного матеріалу - кубиків з фторопласту зі стороною 4 мм, для яких спостерігається найменша різниця температур між поверхнею та всередині частинки. Це дозволяє інтенсифікувати процес теплообміну.
2. Визначено раціональну висоту розташування форсунок для розпилення рідкого продукту - в діаметральній площині над зоною активного теплообміну, висота якої становить 160-180 мм.
3. Встановлено, що оптимальна температура теплоносія повинна становити 120-140°C, а його швидкість - 15,0-18,0 м/с. Це забезпечує інтенсивне перемішування частинок у шарі та високі коефіцієнти теплообміну.
4. Запропоновано вдосконалення конструкції сушарки шляхом додаткового регулювання однорідності гідродинаміки зваженого шару за рахунок встановлення всередині барабана з тангенціальними вводами ротора примусового обертання з лопатевою спіралеподібною насадкою.

Отримані результати дозволяють обґрунтувати раціональні технологічні та конструктивні параметри роботи сушарки для інтенсифікації процесу сушіння рідких харчових продуктів у вихровому шарі інертного матеріалу.

Апробація результатів магістерської роботи.

Основні результати дослідження магістерської роботи були представлені: Матеріали 89 Міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів "Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті", 3-7 квітня 2023 р. – К.: НУХТ, 2023 р. – Ч.2. – 341 с.

1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ, ВИБІР І ОБҐРУНТУВАННЯ НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕННЯ

Система сушіння з вихровим рухом "Конвекс".

В сфері сушильних установок виявлено, що вихрові системи виявляються меншими за розміром у порівнянні із циклонними, і при цьому вони мають покращену сепараційну здатність та вищу утримуючу ефективність. У рис.1.1. представлено зразок вихрової сушарки з системи "Конвекс". Промисловий апарат з вертикальною віссю закручування газосуспензії складається з циліндричної камери 3 з вхідним патрубком 1 і знімною кришкою 4. Отвір у дніще камери з'єднує її з равликом 6 та вихідним патрубком 7. Відбивне кільце 5, обладнане овальним екранним виступом, регулює утримуючу здатність камери. Труба 2 використовується для уникнення мертвої зони вихору. Газовзвись вологого матеріалу введено тангенціально в вихрову камеру та піддається закручуванню. Частинки, що перевищують певний критичний розмір, відокремлюються, утворюючи обертаюче кільце. Повторно введений матеріал постійно витісняє циркулюючі частинки у внутрішніх шарах, які захоплюються повітрям і виводяться через центральний отвір у равлику 6, звідки вони виводяться на зовнішню сторону через вихідний патрубок 7.

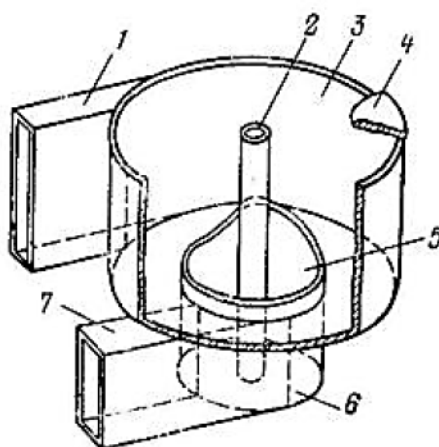


Рис.1.1. Система сушіння з вихровим рухом "Конвекс".

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ	<i>Технічне узгодження</i> Якимчук Р. Л.	<i>Вид документа</i> Пояснювальна записка	<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i> НУХТ	<i>Розробник документа</i> Кодтун Р.В.	<i>Назва, додаткова назва</i> АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ, ВИБІР І ОБҐРУНТУВАННЯ НАПРЯМКУ	221872.КР.12.000 ПЗ			
	<i>Документ затверджено</i> Якимчук В.М.		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> UA	<i>Аркуш</i> 1/29

1 – вхідний патрубок; 2 – труба; 3 – вихрова камера; 4 – кришка; 5 – відбійне кільце; 6 – улітка; 7 – вихідний патрубок

Кільце циркулюючої газосуспензії характеризується великою концентрацією матеріалу, що призводить до збільшення питомої поверхні контакту фаз в апараті. Крім того, сепараційна дія відцентрового поля сприяє протягом тривалого часу знаходженню великих часток у зоні сушіння, забезпечуючи відносно рівномірний залишковий вміст вологи в матеріалі. [9]

Камера з вихровим рухом.

Вихрові сушарки, розроблені у Науково-дослідному інституті хімічного машинобудування, відрізняються від сушарки "Конвекс" в основному за рахунок горизонтального розташування осі циліндричної камери (яка приймає форму диска). Ці сушарки мають ряд модифікацій, які розширюють їх можливості застосування для сушіння різноманітних продуктів. Схематична представлення базової конструкції вихрової камери подано на рис.1.2.

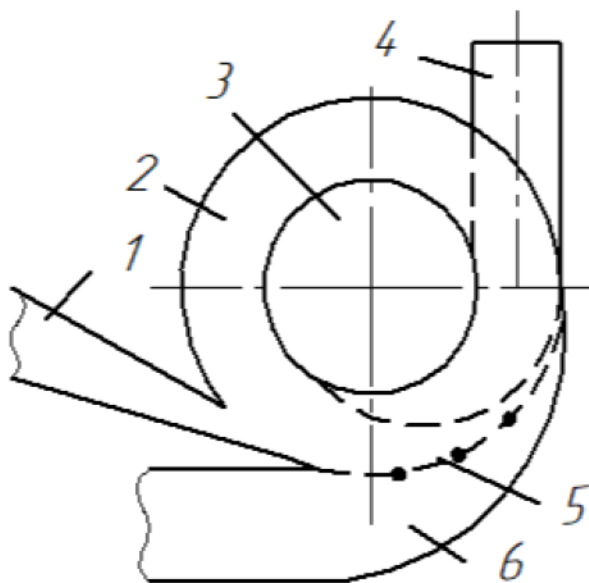


Рис.1.2. Камера з вихровим рухом пневмосушарки

1 – додатковий тангенціальний газовід; 2 – корпус; 3 – вихідний отвір; 4 – улітка; 5 – регулюючі пластини; 6 – газорозподільчий короб

У корпусі 2, розташованому в нижній частині, розміщено жалюзійний пристрій, що складається з декількох увігнутих пластин 5, які обертаються навколо нерухомих осей. Газорозподільний короб 6 прилягає до жалюзійного влаштування. Додатковий тангенціальний газохід 1 для пневматичного подачі матеріалу в апарат може бути розміщений у камері. У центральній частині торцевої стінки апарату є отвір 3, до якого примикає равликopodobний канал 4 для виведення газосуспензії.

Живильник подає вологий порошкоподібний матеріал у бічну частину камери, і під впливом газових струменів він стікає в камеру через тангенціальні щілини, які утворені пластинами 5, та втягується в обертальний рух. Відкинутий до стінок матеріал формує в апараті кільцевий обертаючий шар, який пронизують струмені газу, виходячи через тангенціальні щілини. Швидкість витікання газу становить 50-80 м/с, при цьому максимальна швидкість руху матеріалу в апараті не перевищує 10 м/с. Це забезпечує значні відносні швидкості руху фаз та, отже, високу інтенсивність процесів тепло- і масопереносу.

Зі збільшенням розміру часток оброблюваного матеріалу товщина шару, який виробляється в апараті, збільшується. У промислових апаратах товщина кільцевого обертаючого шару може досягати значень від 100 до 150 мм. Це забезпечує можливість накопичення великої кількості матеріалу в апараті і забезпечує тривалий період часу для його утримання в камері. Середній час перебування матеріалу в вихрових камерах становить 10-20 секунд для частинок розміром 0,1-0,2 мм та може досягати 2-3 хвилин для частинок розміром 3-4 мм. Ця різниця у часі утримання між великими та дрібними частинками дозволяє використовувати вихрові камери для однорідної сушки полідисперсних матеріалів. [10]

Вихрова сушильна установка з двома камерами.

Модифікацій відомий ряд базової конструкції вихрової сушарки від Науково-дослідного інституту хімічного машинобудування, які дозволяють

обробляти матеріали з підвищеною адгезійною здатністю, рідкою або пастоподібною консистенцією, а також кускові та агреговані матеріали. Для досягнення цього ефекту внутрішню частину камери оснащують мішалкою із шкребками або подрібнювачем типу дисмембратора. Також може бути використана насадка у вигляді гранул з інертного матеріалу.

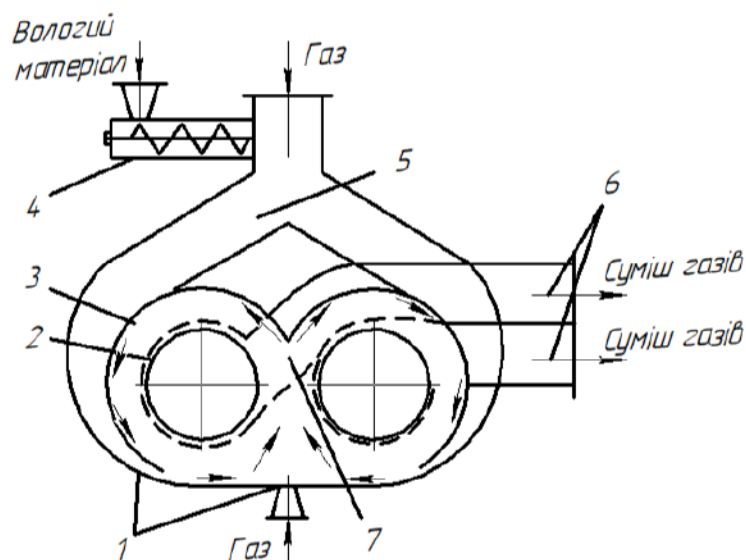


Рис.1.3. Вихрова сушильна установка з двома камерами

1 – щільові вводи; 2 – вихлопні патрубки; 3 – вихрова камера; 4 – живильник; 5 – обвідні газовводи; 6 – відвідні улітки; 7 - гребінь

Навіть при високій інтенсивності вихрових сушарок, існує можливість додаткового підвищення ефективності процесу сушіння дисперсних матеріалів. Сприкладом може служити конструкція сушарки розроблена Г. С. Федоровим і В. А. Шу-Лякоть (рис.1.3). Запропонований ними пристрій складається з двох з'єднаних вихрових камер 3 з тангенціальними щілинними газорозподільними пристроями 1, які забезпечують многоразове зіткнення протилежно обертових потоків газових взвісей. Якість сушіння можна регулювати, змінюючи співвідношення потоків теплоносія, що циркулюють всередині пристрою. Для регулювання використовують положення заслонок 1 та вихлопних патрубків 2 для виведення газосуспензії продукту. [12]

Установки сушіння з сушильними апаратами вихрового типу втрачають ефективність через громіздкість сучасного обладнання для відділення пилу,

такого як циклони і фільтри. Тому на поточному етапі розвитку сушильної техніки акцентується на створенні сушильних апаратів без використання цих відділюючих пристроїв.

Так, німецька компанія "Шильде" розробила серію безвідходних сушильних апаратів. Особливістю цих конструкцій є вертикальна вихрова камера з великим відношенням висоти до діаметра. Газ вводиться тангенціально через ряд рівномірно розташованих по висоті сопел. Автоматично керовані клапани дозволяють подавати газ по черзі на окремі групи сопел, тим самим формуючи кільцеподібний або спіралеподібний рух матеріалу та регулюючи час його перебування в апараті. Сушений продукт і відпрацьований газ виводяться окремо.

Установка для сушіння зі зустрічним закрученим потоком теплоносія ВЗП.

Вихрова сушарка безуносного типу із зустрічними закрученими потоками ВЗП розроблена в (НИИхіммаш). Основною особливістю цієї конструкції є використання зустрічних закручених потоків теплоносія. Типовий вигляд апарату із зустрічними закрученими потоками теплоносія можна побачити на рис. 1.4.

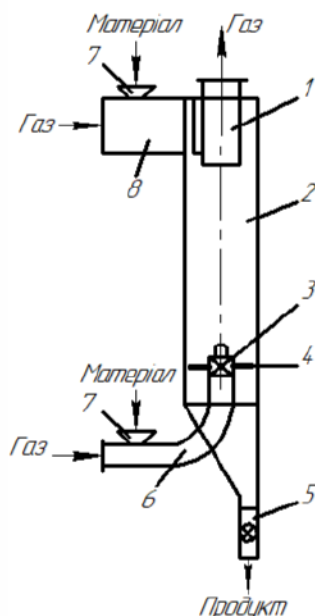


Рис.1.4. Установка для сушіння зі зустрічним закрученим потоком теплоносія ВЗП

1 – вихлопна труба; 2 – сушильна камера; 3 – завихрював; 4 – відбійна шайба; 5 – пристрій вигризки; 6 – газовідвідна труба першого потоку теплоносія; 7 – живильники; 8 – тангенсійний газовід другого потоку

Подача повітря у камеру спричиняє утворення газозвісі, який закручується за допомогою лопаткового або тангенціального завихрювача. Перший закручений потік газосуспензії направлений вгору по центральній частині апарату, в той час як другий, також обертований в ту ж сторону, направлений вниз. Частинки дисперсного матеріалу з внутрішнього потоку, під впливом відцентрових сил, викидаються до периферії апарату і транспортуються вниз вторинним потоком до нижньої частини камери, де потім направляються у бункер. Взаємодія двох зустрічних закручених потоків створює сприятливі умови для ефективного розділення дисперсної і газової фаз, що забезпечує високий рівень ефективності пиловловлення в цих апаратах. [6]

Пневмосушарка з комбінованою спіраллю і вихровою камерою (КСВ)

Для ефективної сушки термолабільних матеріалів з тривалим другим періодом раціональною вважається конструкція пневмосушарки, в якій спіральний канал ідеального витіснення пов'язаний з вихровою камерою ідеального перемішування фаз. Такий підхід дозволяє використовувати високотемпературний сушильний агент для видалення вільної та слабозв'язаної вологи з матеріалу у спіральному каналі, а далі забезпечує досушку продукту в вихровій камері за участю охолодженого сушильного агента, забезпечуючи при цьому «м'які» температурні умови протягом більш тривалого періоду часу. Розробка комбінованої спірально-вихрової пневмосушарки (КСВ), конструкція якої відображена на рис. 1.5, вирішує це завдання для апаратів без використання носія.

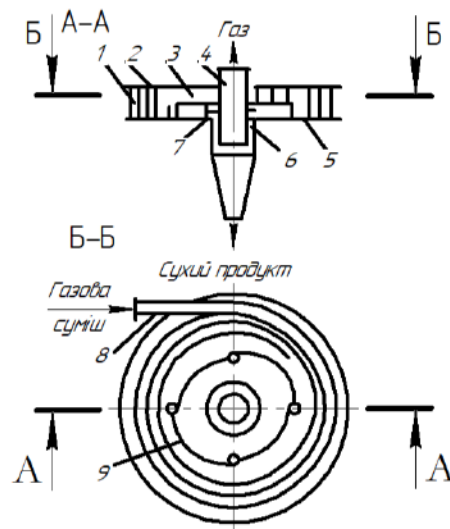


Рис.1.5. Пневмосушарка з комбінованою спіраллю і вихровою камерою (КСВ)

1 – спіральний канал; 2 – кришка; 3 – вихрова камера; 4 – вихлопна труба; 5 – днище; 6 – циклонна камера; 7 – поріг; 8 – патрубок; 9 – елементи регулювання

У центрі пневмосушарки встановлена розвантажувальна циклонна камера 6, яка утворює вихрову камеру 3 з останнім витком спіралі. Між вихровою і циклонною камерами є знімний поріжок 7. Змінюючи висоту поріжка, можна регулювати загальний час перебування всього матеріалу в сушарці. Час перебування окремих фракцій матеріалу в вихровій камері регулюється положенням елементів 9. У пневмосушарці присутній сушильний спіральний канал 1 прямокутного перерізу, створений вертикальною спіральною перегородкою, плоским днищем 5 і знімною кришкою 2. [10]

Агрегат для сушіння рідких продуктів АС3-5

Сушильний агрегат для рідких термолабільних продуктів (в т.ч. харчових) є надійним, компактним та високоефективним сушильним пристроєм багатоцільового призначення. Він не має аналогів за величиною питомого вологостіму з одиниці сушильного обсягу і відрізняється простотою та надійністю експлуатації, а також відзначається відсутністю практично будь-яких частин, які зношуються.

Агрегат АС3-5 призначений для зневоднення білкових гідролізатів, яєчного меланжу, агар-агару, бульйонів, екстрактів лікувальних трав, томатів, соєвого ізоляту (молока) і широкого ряду інших рідких продуктів як харчового, так і нехарчового призначення, включаючи ті, що мають високі пеноутворюючі і адгезійні властивості. [13]

Хід видалення вологи з вихідних матеріалів відбувається в двох протилежно-закручених потоках інертних тіл, де одночасно проводиться сушіння, подрібнення та відділення сухого порошку. Завдяки високій ефективності сушіння волога виводиться з продукту, і він швидко відділяється від поверхні інертного тіла. Це дозволяє використовувати теплоносії з температурою понад 200 °С і суттєво підвищує продуктивність сушарки.

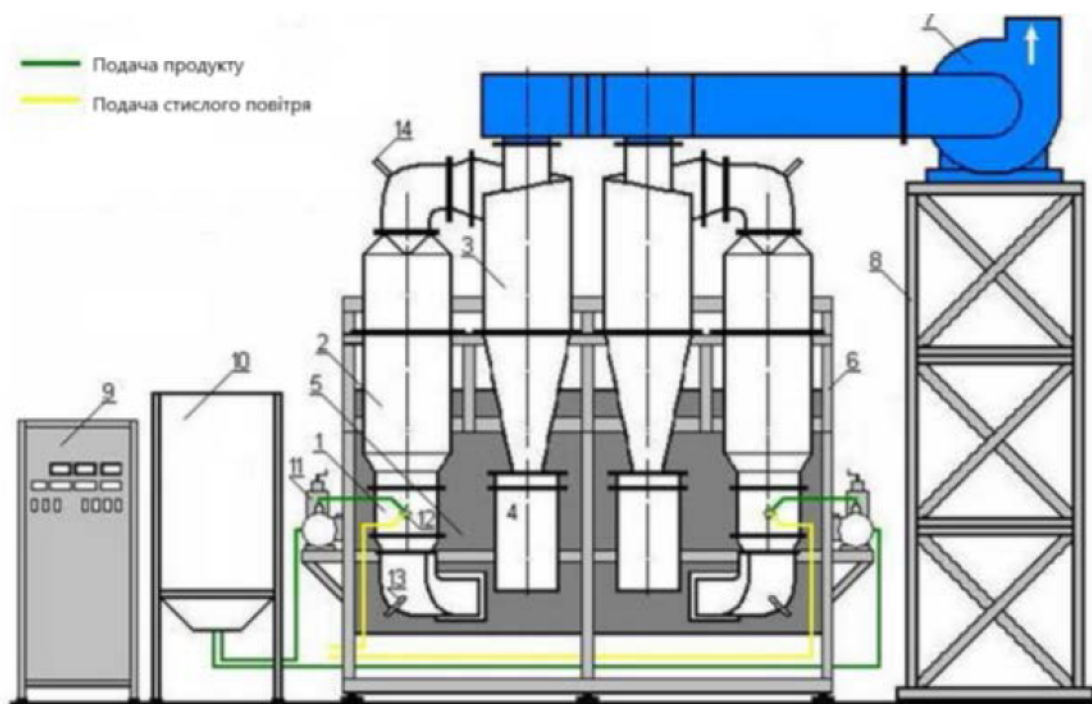


Рис.1.6. Схема агрегату для сушіння рідких продуктів АС3-5

1 - сушильна камера; 2 - розширювальна камера; 3 - циклон; 4 - приймальний бак; 5 - теплогенератор; 6 - рама; 7 - вентилятор; 8 - вишка вентилятора; 9 - шафа управління; 10 - бак для продукту; 11 - насос-дозатор; 12 - форсунка; 13 - датчик температури теплоносія на вході в сушильну камеру; 14 - датчик температури теплоносія на виході з сушильної камери.

Призначений для сушіння рідкого продукту, апарат використовує насос дозуючого 11 для подачі рідини через пневматичну форсунку 12 в сушильну камеру 1. Там рідина наноситься у вигляді розпиленої плівки на шар зважених інертних тіл. Сушильний агент, яким є повітря, підігрівається секційним електронагрівником 5 та потрапляє в сушильні камери 1 через два повітророзподільники, де формуються два зустрічно-закручені зважені шари інертних тіл.

Інтенсивний контакт вологої плівки з сушильним агентом призводить до майже миттєвого видалення вологи. Завдяки швидкому випаровуванню температура теплоносія миттєво знижується, і температура шару в зоні сушки залишається низькою, уникнення перегріву білкових продуктів.

Інтенсивні зіткнення інертних частинок в зоні контакту двох зустрічно-закручених потоків сприяють швидкому сколюванню сухого продукту та його видаленню з зони сушки. Таким чином, виключається можливість накопичення висушеного продукту в зоні високих температур.

Сухий продукт у вигляді порошку разом із сушильним агентом потрапляє через камеру розширення 2 в циклон 3, де відбувається відділення порошку сухого продукту. Потім він вивантажується в приймальний бак 4 через шлюзовий розвантажувальний пристрій. Відпрацьований сушильний агент викидається в атмосферу за допомогою вентилятора 7. Система управління автоматично регулюється за сигналами вхідних 13 і вихідних 14 температурних датчиків.[9]

Установка АСЗ-5 володіє наступними перевагами:

- Простота в обслуговуванні та надійність конструкції (відсутність деталей і вузлів, які піддаються динамічним навантаженням і частин, що піддаються зношуванню).
- Стабільна робота як при високих, так і при низьких температурах сушильного агента.

- Здатність до тривалої безперервної роботи з автоматичним підтриманням температури теплоносія на вході в сушильну камеру.
- Компактні розміри, що дозволяють використовувати установку безпосередньо на місцях виготовлення продукту.
- Можливість розпилення і висушування клейкісних продуктів.
- Всі вузли установки, які контактують з продуктом, виконані з нержавіючої сталі.
- Здатність до швидкого перенастроювання сушарки для обробки інших продуктів.

1.1. Огляд літературних джерел, аналіз прогресивних

Установка для сушіння рідких матеріалів

Сенс винаходу полягає у використанні циліндричного корпусу 1, який частково заповнений інертними тілами. В нижній частині корпусу розміщена газорозподільна решітка 4 із конусоподібним виступом у центрі. У верхній частині корпусу закріплена кільцева газорозподільна решітка 6 з циліндричними соплами. Між кільцевою газорозподільною решіткою 6 та введенням теплоносія розташована форсунка 3. Введення теплоносія реалізоване у вигляді жалюзі, яка може обертатися осьово.

Цей винахід відноситься до пристроїв для сушіння рідких матеріалів, які знаходяться на інертних тілах в підвішеному стані. Його можна успішно використовувати в різних галузях промисловості, зокрема в харчовій промисловості та інших відомих сферах.

Знаменитий метод для сушіння рідких матеріалів на інертних тілах включає в себе використання циліндричної камери, де організовані два кільцевих потоки інертних тіл, що обертаються у протилежних напрямках.

Прогалина цього методу полягає у необхідності, у певних випадках, змінювати опір пристроїв для введення теплоносія з метою забезпечення сталої висоти шару. У верхній частині цього шару розпилюється рідкий матеріал. При

зменшенні висоти шару різко зменшується продуктивність апарату по готовому продукту.

Метою даного винаходу є підвищення ефективності функціонування за допомогою створення зустрічних закручених потоків інертних тіл. Це досягається шляхом подачі теплоносія на різних рівнях та в зустрічних напрямках, використовуючи кільцеві та жалюзійні газорозподільні решітки.

Ціль винаходу досягається шляхом використання пристрою, що оснащений додатковими кільцевими газорозподільними решітками з циліндричними соплами, розташованими у верхній частині корпусу, для організації зустрічних закручених потоків інертних тіл. Між верхньою кільцевою газорозподільною решіткою та введенням теплоносія розташована форсунка, яка служить для наплення висушуваного матеріалу на поверхню інертних тіл. Введення теплоносія виконане у формі жалюзі з можливістю осьового обертання. [14]

Використання такого введення необхідно для зміни напрямку (кута) подачі теплоносія та регулювання його витрати при зміні маси шару інертних тіл, а також типу висушуваного матеріалу, такого як меланж, бульйони, суспензії і т. д. Кільцева газорозподільна решітка, яка має форму набору циліндричних сопел, використовується для балансування мас інертних тіл між кільцевими потоками під час сушіння рідких матеріалів.

Використання жалюзі у вигляді введення обрано через те, що ця конструкція має найменший опір порівняно з відомими аналогами, і дозволяє змінювати кут подачі сформованих струменів теплоносія. Це надає шару інертних тіл тангенціальну та вертикальну компоненти швидкості їх руху в циліндричному корпусі. Крім того, кільцева газорозподільна решітка виконана у вигляді циліндричних сопел, що враховує їхню технологічність виготовлення.

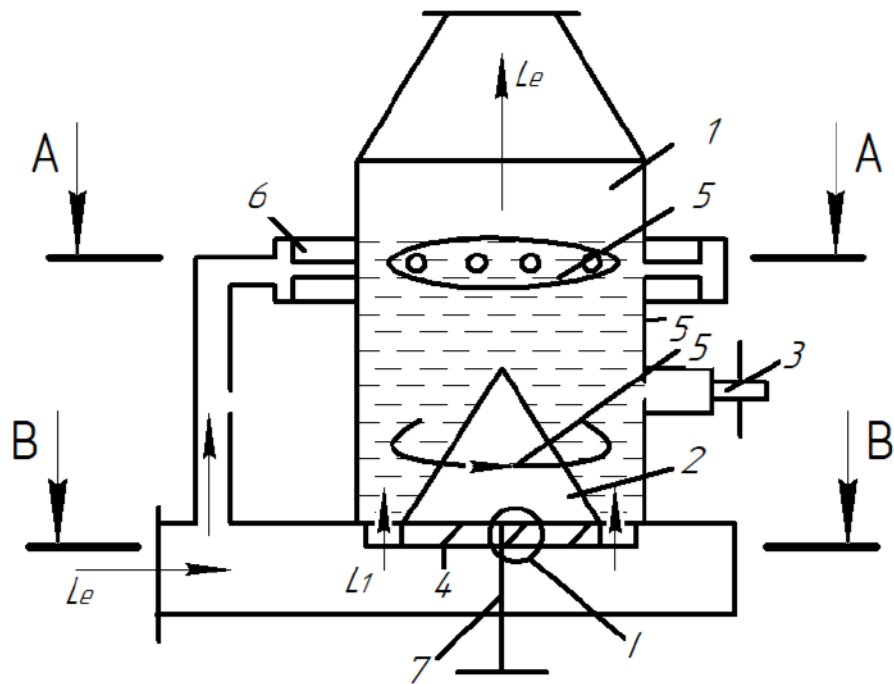


Рис.1.1.1. Установка для сушіння рідких матеріалів

1 – корпус; 2 – конічна вставка; 3 – форсунки; 4 – газорозподільча решітка; 5 – інертні тіла; 6 – кільцева газорозподільча решітка; 7 – поворотний пристрій

Апарат складається з циліндричного корпусу 1, конічної вставки 2 (висота якої визначена висотою зони змінного перерізу апарату), форсунки 3 для введення рідкого матеріалу у зону сушіння, жалюзійної газорозподільної решітки 4, яка змінює напрям подачі теплоносія завдяки поворотному пристрою 7. Останній забезпечує тангенціальний підвід газу в нижній шар інертних тіл 5 та переміщення його в напрямку, протилежному обертанню верхнього шару інертних тіл. Верхній шар переміщується за допомогою струменів газу (теплоносія), що подаються через додаткову газорозподільну решітку 6, виконану у формі циліндричних сопел. Установка працює таким чином.

У внутрішньому об'ємі сушильної камери 1 з центральною конічною вставкою 2 теплоносії подається на двох рівнях через жалюзійну (нижню) решітку 4 та додаткову (верхню) решітку 6. Важливо відзначити, що потоки теплоносія через ці решітки мають протилежні тангенціальні складові швидкостей.

Інертні тіла 5 набувають тангенціальної та вертикальної складових швидкості у циліндричному корпусі 1, розганяючись. Кільцеві потоки інертних тіл 5 обертаються зустрічно, що призводить до формування загальмованої зони руху частинок з припинених потоків інертних тіл 5.

В зазначеній зоні встановлена пневматична форсунка 3, яка відповідає за нанесення висушуваних матеріалів на поверхню інертних тіл 5.

Подача матеріалу в загальмовану зону є обгрунтованою через можливість збільшення маси рідкої плівки, що наноситься на інертні тіла 5. Це, в свою чергу, сприяє підвищенню продуктивності пристрою за рахунок збільшення вихідного матеріалу.

Важливим аспектом при формуванні зваженого шару у вигляді двох кільцевих потоків є балансування мас інертних тіл 5 вздовж шарів. Це досягається шляхом регулювання співвідношень витрат теплоносія через кільцеву та жалюзійні газорозподільні решітки.

Запропонований винахід має наступні переваги:

1. Режим псевдозрідження інертних тіл є стійким, і в камері гарантовано відсутність застійних зон.
2. Можливість регулювання витрати теплоносія через газорозподільні решітки дозволяє здійснювати сушіння стійко при високій продуктивності по готовому продукту.
3. Високоінтенсивний процес очищення інертних тіл від готового продукту дозволяє використовувати установку для сушіння висококонцентрованих білкових та інших харчових продуктів.
4. Пропонований пристрій працює в режимі сталого псевдозрідження інертних тіл і залишається працездатним при змінах витрати теплоносія до 15-25% та температури теплоносія на вході до 20-40°C.

[9.11]

Процес отримання сипучих продуктів із рідких речовин

Виготовлення сипких продуктів із розчинів і суспензій у вихровому вседозріженому шарі відноситься до галузі тепломасообмінних процесів, які спрямовані на отримання сипких продуктів з рідких вихідних матеріалів, таких як розчини, емульсії і суспензії. Цей метод та його відповідний пристрій можуть знайти застосування у різних галузях виробництва, таких як хімічна, харчова та фармацевтична промисловість.

Суть винаходу полягає у формуванні обертового шару інертних частинок, який обертається горизонтально, у реакторі, а також у створенні вихрового потоку зони прискорення, обертання та спадаючої зони. Це досягається шляхом постачання зріджуючого газу у нижню область реактора та область над спадаючою зоною. Рідину, яку обробляють, подають у вигляді імпульсних струменів, спрямованих у напрямку руху інертних частинок у зоні прискорення.

Імпульсний і температурний режими забезпечують пошарове нанесення матеріалу на частинки та пошарове сушіння. Газ та висушені частки виводяться з вихрового шару у верхню відкриту область спадаючої зони через шар обертового матеріалу. В результаті цього винахід сприяє зменшенню прилипання оброблюваного продукту до стінок реактора.

Отримання порошкоподібних продуктів з розчинів, суспензій і емульсій може бути здійснене за допомогою різних методів сушіння.

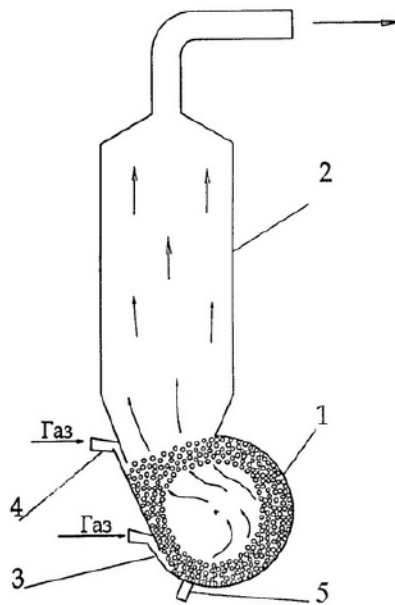


Рис.1.1.2. Пристрій для отримання сипучих продуктів з рідин

1 – реактор; 2 – повітряна камера; 3 – щільові форсунки; 4 – додаткові форсунки; 5 – форсунки подачі зріджуючого газу

В апараті для отримання сипких продуктів із рідин (зображеному на рис. 1.1.2) розташовані ключові компоненти, такі як реактор 1, повітряна камера 2 та щільові форсунки 3, які подають зріджуючий газ з тангенціальною напрямленістю вздовж нижньої частини реактора. Відмітимо, що верхній рівень зрізу стінки реактора, розташований поруч з форсунками, знаходиться вище в порівнянні з протилежною стороною. В області вище лінії розташування форсунок та вище зони спадання розташовані додаткові форсунки 4 для подачі зріджуючого газу. Ці форсунки встановлені так, щоб їхнє напрямлення вздовж стінки реактора відповідало напрямку обертання шару матеріалу. Нижче від лінії розташування форсунок 3 для зріджуючого газу знаходяться форсунки 5 для подачі оброблюваної рідини. Важливо відзначити, що торцеві поверхні цих форсунок 5 розташовані на одному рівні з внутрішньою поверхнею реактора.

Піднятий до необхідної температури газ подається через форсунки 3 і 4 у реактор 1, де розташовані частинки інертного матеріалу, наприклад, з фторопласту, розмір граней яких складає 3-6 мм. Динамічний тиск газу

призводить до обертального руху цих частинок, формуючи обертаючеся кільце. Оброблюваний продукт вводиться через форсунки 5, розташовані у нижній частині спадаючої зони реактора, з торцевою поверхнею форсунок на одному рівні з внутрішньою поверхнею реактора. Таке розташування форсунок дозволяє не заважати руху частинок і сприяє очищенню їх вихідних отворів за допомогою газового потоку і частинок носія.

Розчин постачається в обертний шар частинок під кутом до площини їхнього обертання, про що свідчить короткий проміжок часу (1-3 с). Під час імпульсу подачі рідини відбувається обволікання частинок і їх нагрівання за рахунок накопиченого тепла і тепла, що оточується газом. Завдяки високій швидкості газу (до 50 м/сек) досягається значний коефіцієнт теплообміну в поверхневому шарі, що призводить до швидкого випаровування вологи. На поверхні частинок утворюється підсушена плівка, але при вологості менше 10% вона ефективно видаляється газовим потоком, утворюючи дрібнодисперсний порошок. Такий ефект є значущим недоліком існуючих методів.

Тому, для отримання крупнодисперсних порошків, наступний імпульс рідини подають при зниженні вологості підшару до 10%. Кожен новий імпульс призводить до збільшення товщини плівки. При досягненні товщини від 0,1 до 0,3 мм подачу розчину припиняють, розпочинаючи остаточний етап сушіння шару. Після завершення цього етапу, коли вологість впаде до 3-5%, припиняють подачу гарячого повітря і починають подавати охолоджений газ в реактор через форсунки 3 і 4. Тиск у форсунках 4 розрахований так, щоб забезпечити необхідний режим обертання в спадаючій зоні, що призводить до швидкого відведення частинок від області гальмування.

За різкого охолодження поверхонь частинок носія, а саме напиленого шару, відбувається термічна деформація шару, що призводить до його легкого відділення (сколювання) від частинок носія в зоні гальмування. Охолоджене повітря, що поступає через форсунку 4, не лише сприяє розтріскуванню плівки та підтримці високої швидкості обертання, але й завдяки йому усувається

злипання частинок носія та утворення злипаних агломератів в зоні ударного гальмування.

Під впливом струменя газу частки не залишаються на стінці реактора, а починають швидко спадання до форсунки 3 після відбиття від поверхні. Коли вони потрапляють в холодну газову середу, створену форсунками 3, відбувається їх швидке охолодження до температури подаваного газу безпосередньо в реакторі. В цей момент поверхня реактора, яка піддається ударному впливу частинок, очищається та готується до взаємодії з наступними частками носія.[5]

Установка для сушіння з розпилюванням типу ВЗП із застосуванням інертного носія.

Вдосконалений винахід відноситься до області технології сушіння дисперсних матеріалів і може знайти своє застосування у різних галузях промисловості, таких як мікробіологія, харчова, хімічна та інші.

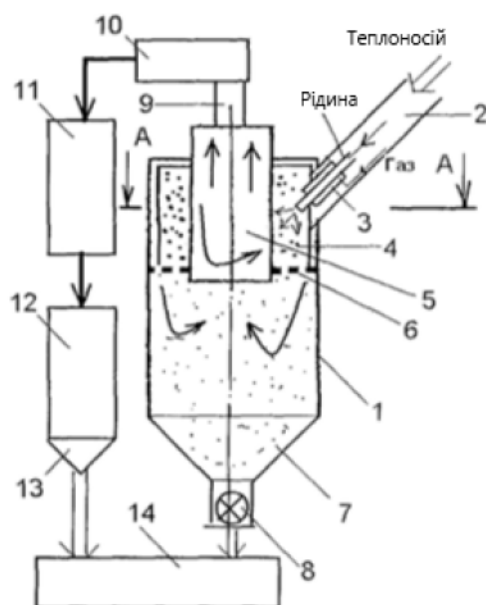


Рис.1.1.3. Установка для сушіння з розпилюванням типу ВЗП із застосуванням інертного носія.

1 – корпус; 2 - тангенціальні сопла; 3 – пневматичні форсунки; 4 – інертний носій; 5 – центральний газохід; 6 – перфорована решітка; 7 – бункер; 8

– затвор; 9 – трубопровід; 10 – акустична установка; 11 – циклон; 12 – рукавний фільтр; 13 – бункер; 14 - транспортер

У конструкції розпилювальної сушарки присутній циліндричний корпус 1 (див. Рис. 1.1.3), обладнаний принаймні двома тангенціальними соплами 2 для транспортування теплоносія. У цих соплах розміщені пневматичні форсунки 3, які призначені для впорскування вихідного розчину в шар інертного носія 4. Центральний газохід 5 відведений для видалення відпрацьованого теплоносія. Між поверхнями корпусу 1 і перфорованими решітками 6, розташованими перпендикулярно осі корпусу, над виходом газоходу 5, розпилюваний розчин подається за допомогою форсунок 3 на частинки інертного носія 4 (див. Фіг. 2). Під час цього процесу відбувається сушіння на них, і частинки відокремлюються від поверхні і виводяться потоком відпрацьованого теплоносія через газохід 5. У процесі цього виведення частина висушених розчину потрапляє до бункера 7 і, через затвор 8, надалі на транспортер 14 (наприклад, у формі пневмотранспорту).

Решта частинок висушеного розчину, яка проходить через газохід 5, направляється трубопроводом 9 в акустичну установку 10. Після цього теплоносії подається в циклон 11, що має бункер, де відокремлюється основна частина сухого матеріалу, що переноситься відділено віднесеним теплоносієм. Остаточна очистка теплоносія відбувається в рукавному фільтрі 12, який обладнаний бункером 13. З цього бункера готовий продукт подається на транспортер 14.

Акустична пневматична форсунка 3 складається із порожнистого корпусу, в якому розташовано генератор ультразвукових коливань у вигляді сопла та кільцевого об'ємного резонатора. Форма корпусу нагадує вертикальну циліндричну втулку, де у верхній частині знаходиться трубка для подачі повітря, а перпендикулярно до її осі розташована трубка для введення розчину. Усередині корпусу знаходиться втулка, жорстко закріплена з фланцями, з верхнім і нижнім фланцем. Нижній фланець фіксується в проточці корпусу.

У середині цієї втулки знаходиться кільцевий об'ємний резонатор у формі чашки з конічною поверхнею. [8]

Чашка запресована на стрижні діаметром d резонатора, і в його хвостовій частині розташовані диски, що виглядають як пружні пелюстки, взаємодіючи з внутрішньою поверхнею втулки. Фіксуючі диски взаємодіють із внутрішньою поверхнею втулки завдяки пружним пелюсткам. У нижньому фланці розташоване принаймні одне сопло, яке нахилиється під кутом до осі резонатора у діапазоні величин від 20° до 40° . Продовження осі сопла лежить на колі, розташованому в середній частині конічної поверхні. Також на внутрішній поверхні втулки знаходяться співвісні конічні і циліндричні отвори.

Сушарка з вузлом зустрічних закручених потоків (ВЗП) функціонує наступним чином.

Під час процесу сушіння інертному носієві надають обертальний рух за допомогою направлених потоків газоподібного теплоносія, що надходять з сопел 2. Відцентрова сила діє на інертні частинки носія, притискаючи їх до стінки корпусу 1 і утворюючи рівномірне обертове кільце між поверхнею корпусу 1 та перфорованими решітками 6. В процесі цього висушуваний розчин наноситься форсунками 3 на частинки інертного носія 4, висушується на них, відділяється від їх поверхні і виводиться потоком відпрацьованого теплоносія через газохід 5. Частина висушеного розчину потрапляє в бункер 7 і, через затвор 8, подається на транспортер 14 (наприклад, у формі пневмотранспорту).

В результаті цього сили тертя та удару між частками одна з одною і зі стінками корпусу 1 сушарки можуть досягати значних значень, що залежать від швидкості витікання теплоносія. Це сприяє ефективному виведенню висушеного розчину з поверхні частинок інертного носія. [13]

В умовах роботи акустична форсунка для розпилювання рідин функціонує наступним чином.

У процесі функціонування акустична форсунка для розпилювання рідин працює так, що розпилюючий агент, наприклад повітря, подається через

трубку, де він зіштовхується з кільцевим об'ємним резонатором. Під час проходження через резонатор розпилюючий агент, наприклад, повітря, викликає пульсації тиску, що породжують акустичні коливання. Частота цих коливань залежить від параметрів резонатора. Акустичні коливання розпилюючого агента сприяють докладнішому розпилюванню розчину, який поступає через трубку в сопло. З сопла розчин потрапляє на окружність, знаходячись в середній частині конічної поверхні резонатора, і тут під впливом акустичних коливань повітря дробиться на дрібні краплі. Цей процес формує факел розпорошеного розчину, де кут розпилення визначається кутом нахилу конічної поверхні резонатора. У результаті сушіння отримують тонкі порошки продуктів з вологістю до 0,8%. Високі швидкості фаз у зоні виходу теплоносія з тангенціальних сопел сприяють проведенню процесу сушіння з максимальною ефективністю.

Установка для сушіння матеріалів

Винахід може бути застосований для висушування на матеріалі, що слугує інертним носієм.

Винахід ставить за мету розширення технологічних можливостей за допомогою впровадження процесу сушіння на інертному носії.

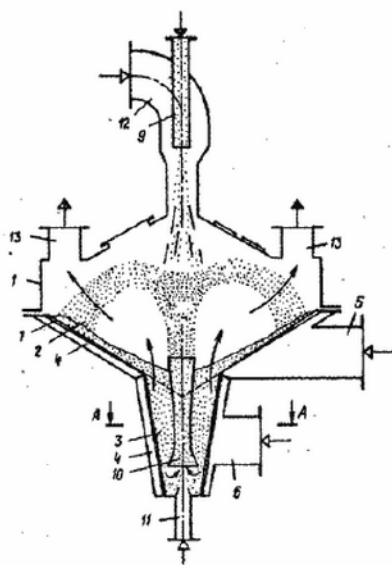


Рис.1.1.4. Установка для сушіння матеріалів

1 – сушильна камера; 2,3 – усічені піраміди; 4 – сорочки; 5,6 – системи подачі теплоносія; 7 – прорізи; 8 – сітчасті перегородки; 9 – пневмозавантажувальний пристрій; 10 – пневмоежектор; 11 – патрубок; 12 – верхній патрубок; 13 – відвідні патрубки

У складі установки присутня сушильна камера 1, нижня частина якої виконана у формі з'єднання двох правильних усічених пірамід 2 і 3 з кутом між ними в межах 225-235 градусів і забезпечена зовнішніми оболонками 4. Ці оболонки підключені до індивідуальних систем 5 і 6 для подачі теплоносія.

Грані пірамід 2 і 3 встановлені суміжно з перекриттям, утворюючи прорізи 7, які розширюються догори у зоні перетину для введення сушильного агента в сушильну камеру 1. У цих прорізах 7 встановлені сітчасті перегородки 8. Пневмозагрузочний пристрій 9 для вологого матеріалу розташований у верхній частині сушильної камери. [10]

В нижній ділянці камери 1 вздовж її вісі встановлено пневмоежектор 10 з приєднаним до нього патрубком 11 для подачі теплоносія, що забезпечує створення напрямного висхідного потоку, і виносу його через верхній патрубок 12. Відпрацьований теплоносій разом із висушеним матеріалом відведено через патрубки 13 для подальшого направлення в циклони (не відображено). При сушінні розчинів або суспензій завантажувальний пристрій 9 може бути обладнаний пневматичною форсункою, яка зазвичай має можливість вертикального переміщення (не представлено).

Гранули інертного носія завантажуються в сушильну камеру 1 через верхній люк у необхідній кількості. Подачу теплоносія здійснюють через патрубки 5 і 6, утворюючи закручений зважений шар інертного носія. Цей шар розподіляється як крутне кільцеве утворення по внутрішній поверхні камер 2 і 3. У нижній частині камери 3 частинки інертного носія захоплюються теплоносієм, який надходить в сушильну камеру 1 через патрубок 11. Вони подаються разом з теплоносієм в пневмоежектор 10, де взаємодіють з потоком

вологого матеріалу, що постачається в установку пневмозагрузочним пристроєм 9 в потоці високотемпературного теплоносія через патрубок 12.

У зоні взаємодії протилежних потоків відбувається гідродинамічне гальмування, призводячи до многократних коливальних рухів частинок інертного носія та висушуваного матеріалу між різними струминями. Цей процес призводить до рівномірного розподілу вологого матеріалу, який диспергується і наноситься на поверхню частинок інертного носія.

Після цього етапу, частинки інертного носія та висушуваний матеріал потрапляють у периферійну зону сушильної камери, де вони експонуються впливу потоку закрученого зваженого шару для проведення процесу сушіння. Час, що витрачається вологим матеріалом в цьому відсіку, регулюється обсягом теплоносія, що подається через патрубок 5. За рахунок поступового зменшення вологості матеріалу гранули інертного носія спускаються в нижню камеру, де проводиться додатковий етап сушіння матеріалу до досягнення необхідної кінцевої вологості та його відокремлення від поверхні гранул інертного носія. Висушений матеріал разом із відпрацьованим теплоносієм виводиться через патрубки 13 в циклони (не показані), а чисті гранули інертного носія, позбавлені вологого матеріалу, повертаються на вхід пневмоежектора 10. Будова нижньої частини сушильної камери 1, що складається з об'єднання двох правильних усічених пірамід з кутом між ними від 225 до 235 градусів, сприяє результативному здійсненню процесу сушіння матеріалу як у верхній зоні (де відбувається розподіл вологого матеріалу по поверхні гранул інертного носія та його підсушування), так і в нижній зоні (де матеріал додатково сушиться до досягнення необхідної кінцевої вологості та відділяється від поверхні гранул).[12]

Пристрій для висушування матеріалів у формі пасти

Зазначений винахід відноситься до області сушильної техніки, конкретніше — до сушилок, які використовують активний гідродинамічний режим для сушіння матеріалів у пастоподібній формі. Вирішення цієї задачі досягається

через використання зваженого закрученого шару інертних частинок. Винахід може знайти своє використання у виробництві різних продуктів, таких як барвники, медичні препарати, продукти харчування та інші подібні товари.

Відомий пристрій для сушіння суспензій і пастоподібних матеріалів на носіях, що не взаємодіють з продуктом, включає в себе циліндро-конічну камеру зваженого шару, оснащену барабаном у нижній частині. Крім того, у пристрої є патрубки для тангенціального введення теплоносія і конус з форсунками для подачі вологого матеріалу.

Мінуси даного сушильного пристрою включають:

а) виникнення локальних проривів (каналів) через неоднорідність закрученого потоку повітря, що вводиться в закручений шар матеріалу;

б) утворення зон застою, де спостерігається агрегування вологого матеріалу, особливо при використанні максимально можливої кількості інертного носія.

Метою технічного завдання є підвищення ефективності установки за допомогою контролю однорідності гідродинаміки в закрученому шарі. Для досягнення цієї мети у встановці для сушіння пастоподібних матеріалів на інертних тілах, що включає конічну камеру зваженого шару, барабан з тангенціальними вводами теплоносія і пристрій для бокового введення пастоподібного матеріалу, використовується новаторський підхід. Згідно з винаходом, для регулювання закрученого потоку теплоносія всередині барабана з тангенціальними вводами розташовується ротор з лопатевою спіралеподібною насадкою, а також передбачена можливість регулювання обертового руху ротора.

Установка призначена для сушіння пастоподібних матеріалів на інертних тілах і включає в себе конічну камеру 1, де розташований зважений шар інертних частин 4. Установка також обладнана вертикальним барабаном 2, який призначений для двохпотокowego тангенціального введення теплоносія. Барабан оснащений ротором 5, що має лопатеву насадку 6 і приводиться в

обертання за допомогою редуктора 7. Додатково установка обладнана пристроєм 3 для введення пастоподібного матеріалу.

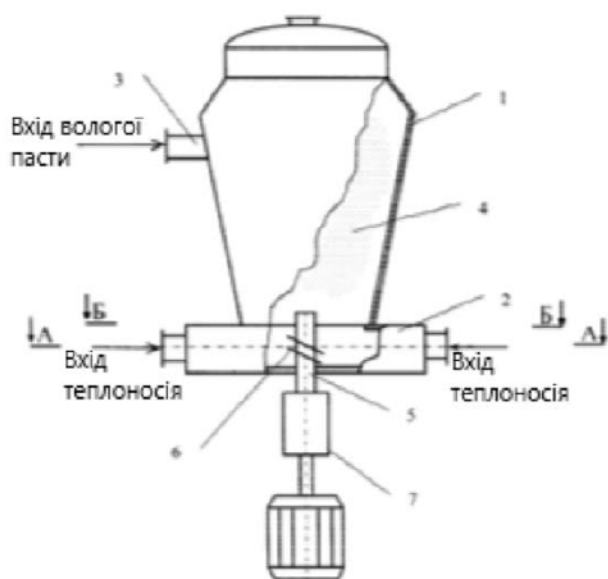


Рис. 1.1.5. Пристрій для висушування матеріалів у формі пасти

1 – конічна камера; 2 – барабан; 3 – пристрій для введення пастоподібного матеріалу; 4 – інертні частинки; 5 – ротор; 6 – лопатева насадка; 7 – редуктор.

Потоки теплоносія, що подаються через барабан 2, взаємодіють з інертним носієм, спричиняючи його зваження. У результаті цього утворюється щільний закручений потік інертних частин 4, в який впроваджується пастоподібний матеріал. Цей матеріал рівномірно розподіляється по поверхні інертних частинок, сушиться, стирається і виводиться разом із потоком відпрацьованого теплоносія.

Для підтримання однорідності закрученого шару матеріалу використовується ротор 5 із лопатевою насадкою 6, який впливає на потік теплоносія. Ротор складається з чотирьох лопатей (завихрювачів), з двома з них із сектором 90° (верхні) і двома із сектором 180° (нижні). Примусове обертання ротора забезпечується через редуктор 7, і число обертів ротора (ω_r) належить діапазону від 0,8 до 6,0 об/с. Оптимальне число обертів визначається параметрами матеріалу, такими як кількість інертного матеріалу, початкова вологість пасти, а також адгезійні та когезійні властивості висушувального матеріалу.

Швидкість обертання ротора (ω) вибирається в межах ω_0 , оптимальне значення якої експериментально визначається для конкретного матеріалу на основі стійкості шару, відсутності проривів теплоносія та максимальної кількості носіїв інертного матеріалу. Використання ротора із лопатевою спіралеподібною насадкою допомагає зменшити локальну неоднорідність потоку теплоносія та значущо знизити ймовірність утворення каналів у зваженому шарі. Аналогічні явища виявляються при обертанні решітки в класичному киплячому шарі.

Метод висушування рідких речовин

Винахід відноситься до галузі техніки сушіння рідких матеріалів і може мати застосування у різних сферах промисловості. Основною метою винаходу є підвищення ефективності процесу сушіння та зменшення витрат енергії.

На малюнку показано пристрій, призначений для впровадження в дію вказаного методу.

Пристрій включає в себе вихрову сушильну камеру 1, обладнану щільними патрубками 2 для направлення газоподібного сушильного агента до сушильної камери. Також в сушильну камеру завантажуються частини 3 інертного матеріалу, а по центральній осі сушильної камери розташований патрубок 4, який забезпечує постачання рідкого матеріалу знизу вгору вільним струменем з патрубку 4 в область злиття вихрових потоків.

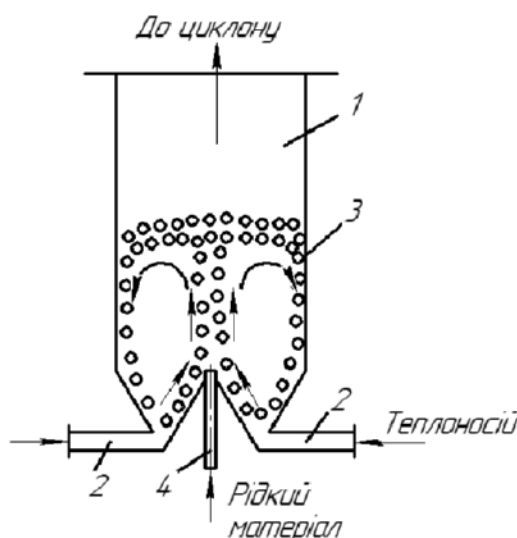


Рис. 1.1.6. Метод висушування рідких речовин

Через щілинні патрубки 2 газоподібний теплоносій подається в сушильну камеру 1, створюючи зустрічні вихрові потоки для інертних частинок 3. У той же час вихідний вологий матеріал подається через патрубок 4 вільним витокком прямо в область злиття вихрових потоків. В цій області формується активне гідродинамічне середовище з високою турбулентністю та значною концентрацією твердих частинок. Це сприяє ефективній дисперсії вологого матеріалу і його рівномірному розподілу по поверхні частинок 3, що досягається за рахунок енергії двофазних вихрових потоків, і при цьому не потребує додаткових витрат енергії на процес розпилення.

Процес сушіння яєчного меланжу відбувається наступним чином. Інертний матеріал представлений гранулами фторпласту, які мають кубічну форму з ребром розміром 4 мм. Рідкий яєчний меланж постачається в сушильну камеру через патрубок діаметром 4 мм з внутрішнім діаметром, інтенсивно диспергується вихровим потоком газоподібного теплоносія, який подається через щілинні патрубки з температурою 120 °С та швидкістю 50 м/с. Висушений матеріал, звільнений від гранул, направляється в потік обробленого теплоносія з температурою 70 °С і виводиться в циклон (не показаний) для подальшої обробки.

1.2. Обґрунтування актуальності дослідження, формулювання мети

Процес сушіння рідких матеріалів, зокрема харчових продуктів, є важливим та актуальним завданням харчової промисловості. Це пов'язано з тим, що видалення вологи дозволяє збільшити терміни зберігання продуктів, зменшити масогабаритні показники для транспортування, а також розширити асортимент продуктів завдяки створенню сухих сумішей та напівфабрикатів.

На сьогодні існує широкий спектр методів і обладнання для сушіння рідких харчових продуктів. Основними є такі методи, як сушіння в плівці, розпилювальне сушіння, сублімаційне сушіння, вальцьове сушіння, сушіння в киплячому шарі та інші. Усі вони мають свої переваги та недоліки. Тому актуальним на сьогодні є розробка нових, ефективніших методів та обладнання

для сушіння рідких харчових продуктів, які вирішують недоліки традиційних підходів.

Для забезпечення раціонального вибору конструкції сушарки, інтенсифікації процесу сушіння та скорочення енерговитрат необхідним є всебічний пошук прогресивних конструктивних рішень. Важливо проаналізувати сучасні тенденції розвитку обладнання для сушіння рідких матеріалів, перспективні конструкції апаратів, прогресивні технологічні прийоми сушіння.

Зокрема, доцільним є розгляд можливості застосування контактного принципу сушіння з використанням інертного носія. Це дозволить реалізувати короткотривалий інтенсивний процес сушіння в тонкому шарі на поверхні носія за рахунок активного контакту фаз. Цей спосіб сушіння демонструє високу продуктивність та ефективність і може бути успішно використаний для сушіння рідких харчових продуктів.

Таким чином, підвищення ефективності процесу сушіння рідких харчових продуктів шляхом розробки та дослідження нової конструкції контактної сушарки з інертним носієм є актуальним науковим завданням.

Метою дослідження є розробка та експериментальне дослідження нової конструкції сушарки з інертним носієм для сушіння рідких харчових продуктів, яка забезпечить інтенсифікацію процесу сушіння та скорочення енерговитрат.

Завдання дослідження:

1. Здійснити аналіз відомих конструкцій контактних сушарок з інертним носієм для сушіння рідких харчових продуктів.
2. Обрати конструктивне рішення сушарки з інертним носієм для сушіння рідких харчових продуктів.
3. Розробити нову удосконалену конструкцію сушарки з інертним носієм для сушіння рідких харчових продуктів.
4. Розробити методика проведення експериментальних досліджень.

5. Провести комплекс експериментальних досліджень режимних і конструктивних параметрів запропонованої сушарки з метою оптимізації її роботи.

6. Провести дослідження, пов'язані з визначенням ефективності запропонованої сушарки для сушіння рідких харчових продуктів.

Об'єкт дослідження: процес сушіння рідких харчових продуктів у контактній сушарці з інертним носієм. Предмет дослідження: конструкція, режимні та конструктивні параметри контактної сушарки з інертним носієм для сушіння рідких харчових продуктів.

Проведення визначених завдань та їх вирішення дозволять розробити нову ефективну конструкцію сушарки з інертним носієм для сушіння рідких харчових продуктів з підвищеними технологічними і експлуатаційними властивостями. Такий апарат для сушіння харчових продуктів дозволить скоротити терміни сушіння, знизити енерговитрати, підвищити якість отриманого продукту.

У подальшому розроблену конструкцію сушарки можна буде рекомендувати для безпосереднього впровадження на вітчизняних підприємствах з переробки харчової сировини, що буде сприяти підвищенню конкурентоспроможності та ефективності їх роботи завдяки використанню перспективного інноваційного обладнання.

1.3 Висновки

У результаті огляду літературних джерел та аналізу прогресивних технічних рішень встановлено, що процес сушіння рідких харчових продуктів є важливим та актуальним завданням харчової промисловості. Зокрема, перспективним є застосування контактного принципу сушіння на поверхні інертного носія, який дозволяє реалізувати інтенсивний короткочасний процес за рахунок активного контакту фаз.

Проаналізовано ряд відомих конструкцій контактних сушарок з інертним носієм. Встановлено їх основні переваги та недоліки. На основі аналізу обрано базове конструктивне рішення сушарки у вигляді апарата зі зваженим шаром інертних частинок і форсунками для подачі рідкого продукту. Це рішення дозволяє реалізувати інтенсивний контакт фаз і високу продуктивність за сушарки.

Запропоновано удосконалену конструкцію такої контактної сушарки з додатковими елементами, які сприяють інтенсифікації процесу сушіння та підвищенню її ефективності. Розроблено методику експериментальних досліджень.

Проведено комплекс досліджень з визначення оптимальних режимних параметрів роботи сушарки – температури, швидкості і вологості теплоносія, частоти пульсацій подачі рідини на носій. Встановлено раціональні значення цих параметрів, за яких забезпечується максимальна продуктивність та ефективність сушарки.

Також експериментально досліджено вплив основних конструктивних параметрів – геометрії носія, розмірів форсунок. Визначено оптимальну форму, розмір і висоту шару інертного носія, діаметр отворів форсунок тощо.

Отримані результати дозволяють рекомендувати запропоновану удосконалену конструкцію контактної сушарки з інертним носієм для ефективного сушіння рідких харчових продуктів. Використання такої сушарки на підприємствах харчової промисловості дозволить скоротити тривалість процесу сушіння, знизити енерговитрати та підвищити якість готового продукту.

2. РОЗРОБКА НОВОГО ТЕХНІЧНОГО РІШЕННЯ ОБ'ЄКТУ

Одним із ключових напрямків вдосконалення сушильної техніки є розробка нових конструкцій сушарок та впровадження нових конструктивних елементів у систему сушильних установок. Метою є автоматизація та використання передових методів обробки на кожному етапі технологічного процесу, спрямованих на отримання високоякісного продукту. Важливим аспектом є не лише покращення якості продукту, але й досягнення компактності установок з низькою металоємністю та високими техніко-економічними показниками.

Оптимізація процесів сушіння рідких продуктів спрямована на прискорення теплових та масообмінних процесів. У вітчизняній та світовій практиці рекомендується використовувати декілька методів для інтенсифікації процесів тепло- та масопереносу при розпилювальному сушінні:

- поліпшення ефективності розпилення продукту, зменшуючи розмір частинок та підвищуючи ступінь їх моно дисперсності;
- збільшення швидкості відносного руху частинок продукту в потоці теплоносія;
- підвищення потенціалу сушіння за рахунок використання підвищених температур теплоносія;
- передсушіння розчинів та рідких продуктів.

Розпилювачі, які використовуються в сушильних апаратах, забезпечують дрібнорозсіювання продукту з середнім розміром сухих частинок до 50 мкм. Однак зменшення розміру частинок може викликати додаткові труднощі при їх відділенні відпрацьованого теплоносія за допомогою циклонів. Тим не менше, шляхом вдосконалення конструкції циклонів та підвищення їх ефективності можна досягти позитивних результатів в роботі обладнання при підвищенні ступеня дисперсності сухих частинок.

Отже, можливість підвищення ефективності процесу сушіння через

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ	<i>Технічне узгодження</i> Якимчук Р. Л.	<i>Вид документа</i> Пояснювальна записка		<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i> НУХТ	<i>Розробник документа</i> Кодтун Р.В.	<i>Назва, додаткова назва</i> РОЗРОБКА НОВОГО ТЕХНІЧНОГО РІШЕННЯ ОБ'ЄКТУ		221872.КР.12.002 ПЗ			
	<i>Документ затверджено</i> Якимчук В.М.			<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> UA	<i>Аркуш</i> 1/8

підвищення ступеня монодисперсності краплин при розпилюванні є перспективною, оскільки це дозволяє досягти економічності процесу та покращити ефективність використання допоміжного обладнання.

Отже, зазначені зміни в інтенсифікації процесу сушіння рідких продуктів, шляхом підвищення відносної швидкості руху частинок і теплоносія, призводять до позитивних результатів, особливо на етапі початкового періоду розпилювального сушіння. Однак важливо зауважити, що ці зміни не впливають на процес видалення вологи на пізніших етапах зневоднення.

Один з перспективних напрямків у покращенні ефективності процесу сушіння ґрунтується на підвищенні температури теплоносія. Заходи, спрямовані на збільшення температури теплоносія при вході в сушильну установку, можуть призвести до підвищення продуктивності установки. Проте, важливо враховувати, що це також призводить до збільшення температури відпрацьованого теплоносія, що може негативно вплинути на якість готового продукту.

Зазначені напрямки сприяють інтенсифікації процесу, переважно на етапі сталої швидкості сушіння. Цей етап характеризується високою активністю випаровування, особливо в сушильних апаратах з розпилюванням продукту, який переважно відбувається в області факелу розпилення, де відбувається значна втрата вологи.

В подальшому вдосконалення методів сушіння меланжу передбачає розробку ефективних конструкцій сушарок, систем для розподілу теплоносія, видалення сухого продукту та відпрацьованого теплоносія з сушарки, а також поліпшення процесу розпилення рідкого продукту в камеру сушіння.

Для висушування меланжу найбільш ефективним вважається використання компактного та високоефективного обладнання для сушіння – сушильної установки з вихровим шаром інертного матеріалу.

Під час процесу сушіння в вихровому шарі інертних тіл продукт розпилюється на їх поверхню за допомогою форсунок. Після досягнення

кінцевого вмісту вологи він піддається подрібненню та разом з повітряним потоком потрапляє в циклони. Однією з особливостей меланжу є його збільшена адгезійна здатність до поверхні інертних тіл. З цієї причини для використання в якості інертного матеріалу запропоновано використовувати фторопластові частинки кубічної форми з розміром сторони 4 мм.

Використання сушарки з вихровим рухом інертних частинок сприяє ефективному ускладненню процесу та забезпечує отримання висушеного продукту високої якості.

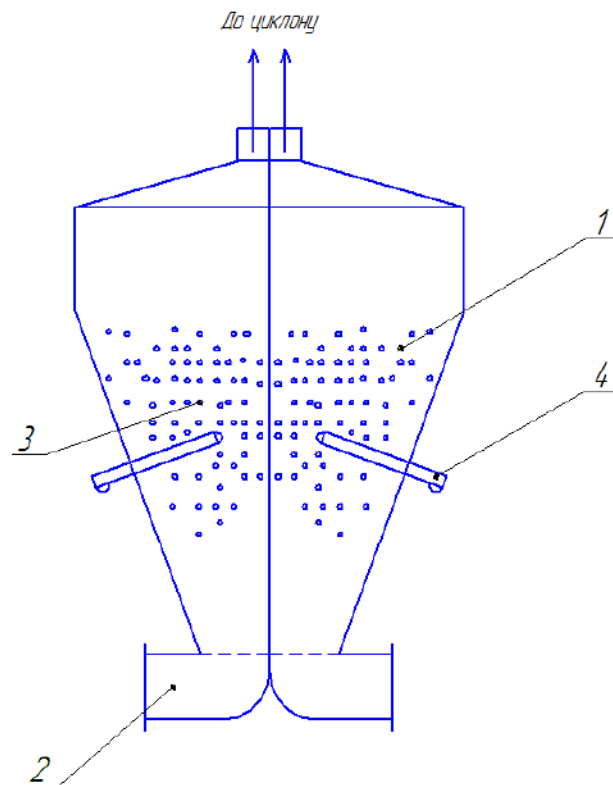


Рис.2.1. Сушильна установка з вихровими потоками інертного матеріалу

Процедура виконується шляхом використання таких етапів.

Газоподібний теплоносій постачається в сушильну камеру 1 через щілинні патрубки 2, створюючи вихрові потоки інертних частинок 3.

Водночас, через форсунки 4 починається розпил вихідного вологого матеріалу безпосередньо в область вихрових потоків. У цій зоні створюється інтенсивна гідродинамічна обстановка з великою турбулентністю і високою

концентрацією твердих частинок. Цей підхід дозволяє ефективно диспергувати вологий матеріал і рівномірно розподіляти його на поверхні частинок 3.

Процес сушіння яєчного меланжу виконується наступним способом.

Для створення частинок 3 інертного матеріалу використовуються фторпластові гранули з кубічною формою та розміром ребра 4 мм. Рідкий яєчний меланж подається в сушильну камеру через форсунки 4, де йому надається інтенсивне диспергування вихровим потоком при введенні газоподібного теплоносія через щілинні патрубки 2 при температурі 120 °С та швидкості 17,3 м/с. Висушений матеріал, що відокремився від гранул, направляється в потік обробленого теплоносія при температурі 60 °С та відводиться в циклон (не відображений).

2.1. Постановка завдань нового технічного рішення, визначення

Розробка нового технічного рішення сушильної установки з вихровим шаром інертного матеріалу для сушіння яєчного меланжу спрямована на вирішення наступних завдань:

1. Підвищення інтенсивності процесу сушіння яєчного меланжу за рахунок створення високотурбулізованого середовища у вихровому шарі. Це дозволить скоротити тривалість сушіння і підвищити продуктивність установки.
2. Забезпечення рівномірного тонкого розподілу яєчного меланжу по поверхні інертних частинок і покращення умов тепло- та масообміну завдяки високій турбулентності потоку.
3. Підвищення якості висушеного продукту за рахунок проведення процесу сушіння у щадному режимі при помірних температурах (120°С на вході, 60°С на виході) і виключення локальних перегрівів меланжу.
4. Зниження питомих витрат енергоносіїв на одиницю готового продукту завдяки компактності і високій інтенсивності роботи запропонованої конструкції сушарки.

5. Забезпечення надійного вловлювання і виведення висушеного продукту з робочої камери сушарки за допомогою вбудованої системи циклонів. Це дозволить підвищити загальну ефективність процесу.

Конструкція запропонованої сушильної установки з вихровим шаром інертного матеріалу містить наступні основні вузли:

- Робоча камера циліндричної форми з теплоізоляційним кожухом, всередині якої розташований вихровий шар фторпластових гранул.
- Система підведення теплоносія у вигляді щілинних отворів по колу камери для створення кругових вихрових потоків.
- Форсунки для розпилення яєчного меланжу безпосередньо у вихровий шар інертних частинок.
- Вбудована система циклонів для відведення готового продукту та відпрацьованого теплоносія.
- Допоміжне обладнання: живильний насос, вентилятор подачі теплоносія, система автоматичного регулювання та контролю параметрів.

Таким чином, запропонована конструкція дозволяє комплексно вирішити питання інтенсифікації процесу сушіння яєчного меланжу, підвищення його ефективності та зниження енергоємності, а також забезпечення високої якості готового продукту.

Визначення основних параметрів і режимів роботи сушарки

Виходячи з поставлених вище завдань, були визначені наступні основні параметри і режими роботи сушарки з вихровим шаром інертного матеріалу для сушіння яєчного меланжу:

1. Геометричні розміри робочої камери:

- Діаметр - 2 м
- Висота циліндричної частини - 3 м

Об'єм робочої камери становить 9,4 м³.

2. Інертний матеріал - фторопластові гранули кубічної форми з розміром ребра 4 мм. Загальний об'єм інертного матеріалу в робочій камері - 1,5 м³.
3. Температура теплоносія на вході в робочу камеру - 120°C.
4. Витрата теплоносія через систему щілинних отворів - 8500 м³/год. Це забезпечує швидкість вихрових потоків до 17,3 м/с.
5. Продуктивність по вихідному меланжу - 600 кг/год.
6. Кінцева залишкова вологість готового продукту після сушіння - 3%.
7. Температура відпрацьованого теплоносія на виході з робочої камери - 60°C.

Запропоновані параметри і режими роботи сушарки дозволяють забезпечити високу інтенсивність процесу сушіння завдяки інтенсивній турбулізації потоку в робочій камері, низьку температуру відпрацьованого теплоносія і, відповідно, високу якість готового продукту. Все це сприяє підвищенню загальної ефективності процесу сушіння.

Перевірочний розрахунок основних параметрів також підтвердив працездатність і адекватність обраних режимів та геометричних розмірів установки.

Додаткові заходи щодо вдосконалення конструкції

Крім основних конструктивних особливостей, описаних вище, можуть бути запропоновані наступні додаткові технічні рішення щодо вдосконалення конструкції сушарки з вихровим шаром:

1. Оптимізація конструкції форсунок з метою забезпечення максимально тонкого і рівномірного розпилення яєчного меланжу. Це дозволить покращити умови тепло- і масообміну в робочій камері.
2. Установка додаткових відбивачів та перегородок у робочій камері для оптимізації аеродинамічної структури потоків та підвищення ступеня турбулізації.

3. Вдосконалення системи циклонів для більш надійного вловлювання висушеного меланжу, у тому числі шляхом реалізації дво- або триступеневої системи сепарації.
4. Розробка ефективної системи утилізації низькопотенційного тепла відпрацьованого теплоносія, наприклад, з використанням теплових насосів.
5. Автоматизація контролю та регулювання основних параметрів процесу (температури, витрат, тиску тощо).

Реалізація даних додаткових технічних заходів дозволить ще більше підвищити ефективність роботи сушарки, знизити енергоємність процесу та покращити якість кінцевого продукту.

2.2. Висновки

У результаті проведеної роботи було розроблено нове технічне рішення сушарки з вихровим шаром інертного матеріалу для ефективного та якісного сушіння яєчного меланжу.

Запропонована конструкція дозволяє вирішити наступні основні завдання:

- Інтенсифікувати процес сушіння завдяки високій турбулізації потоку у вихровому шарі інертних частинок;
- Забезпечити рівномірне тонке розпилення та розподіл меланжу по поверхні фторопластових гранул;
- Реалізувати процес сушіння в щадному режимі при помірних температурах теплоносія;
- Досягти високої якості висушеного меланжу та низької залишкової вологості;
- Знизити енергоємність процесу сушіння за рахунок компактності й ефективності установки.

Крім того, запропоновано низку додаткових технічних рішень для подальшого вдосконалення сушильного апарату – оптимізації системи розпилення, підвищення ступеня турбулізації потоку, вдосконалення системи циклонів та автоматизації процесу.

За результатами перевірочних розрахунків підтверджено працездатність та адекватність прийнятих конструктивних і технологічних рішень.

Таким чином, удосконалена сушильна установка дозволить значно підвищити ефективність процесу сушіння яєчного меланжу, забезпечити високу якість готового продукту та знизити енергоємність виробництва. Запропоноване технічне рішення має високий потенціал для практичного застосування у харчовій промисловості.

3. ДОСЛІДНА ЧАСТИНА ТА УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

Об'єктом дослідження є процес сушіння харчових продуктів у вихровому шарі інертних частинок. Предмет дослідження - вплив матеріалу, форми та розмірів інертних частинок на ефективність процесу сушіння та якість отриманого продукту.

Метою дослідження є вибір оптимального матеріалу, форми та розмірів інертних частинок для інтенсифікації процесу сушіння харчових продуктів у вихровому шарі.

Експериментальні дослідження проводились на лабораторній установці для сушіння у вихровому шарі інертних частинок. Установка складається з камери сушіння, системи подачі та підігріву теплоносія, системи дозування продукту та збору висушеного продукту.

В експериментах використовувались інертні частинки з фторопласту кубічної форми зі сторонами 3, 4 та 6 мм. В якості продукту сушіння використовувався яєчний меланж.

3.1. Об'єкт та предмет досліджень

Однією з ключових проблем у галузі харчової промисловості є оптимізація виробництва дрібнодисперсних сухих продуктів з найменшими можливими витратами енергетичних ресурсів. [3, 4].

Вивчення науково-технічної інформації про застосування методів сушіння для отримання дрібнодисперсних сипких продуктів підтверджує, що перспективним є використання технології сушіння у вихровому шарі інертних тіл, що здійснюється за допомогою розпилення рідкого продукту на їхню поверхню. [1,3,4].

Сушіння рідких харчових продуктів у вихровому шарі на поверхні інертних частинок визнано одним із найбільш ефективних методів. Воно значно перевершує процес сушіння розпиленням як за вихідною концентрацією дисперсій, так і за напруженістю випаровуваної вологи. [4].

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ	<i>Технічне узгодження</i> <i>Якобчук Р. Л.</i>	<i>Вид документа</i> <i>Пояснювальна записка</i>		<i>Статус документа</i>		
<i>Власник документа</i> НУХТ	<i>Розробник документа</i> <i>Кодтун Р.В.</i>	<i>Назва, додаткова назва</i> ДОСЛІДНА ЧАСТИНА ТА УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ	221872.КР.12.003 ПЗ			
	<i>Документ затверджено</i> <i>Якимчук В.М.</i>		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> UA	<i>Аркуш</i> 1/23

Розмаїття продуктів, які можна висушити в таких пристроях, породжує значну кількість досліджень у даній області. Таким чином, розробка ефективного методу сушіння рідких продуктів на поверхні інертних частинок у вихровому шарі є вельми перспективним завданням. У процесі його розробки вибір матеріалу інертних тіл, їх форми та геометричних розмірів стає ключовою задачею.

Декілька досліджень, проведених різними авторами, висвітлюють процес сушіння харчових продуктів на поверхні інертних тіл, які мають форму кубиків, куль зі скла, металу, фторопласту, алюмінію та їхніх композитів. Важливим параметром при цьому є розмір цих тіл. Наприклад, П.Г. Романков вказує, що при збільшенні розмірів інертних тіл до 6... 12 мм, сушарка забезпечує висихання продукту, який в основному складається з частинок розміром близько 300 мкм та набуває форми "чешуйок" або крупинок. Це призводить до значного підвищення продуктивності сушарки, але одночасно збільшує швидкість теплоносія, що вимагає додаткових енергетичних витрат. [4].

Інші дослідники вказують на переваги та ефективність сушіння рідких та кристалоутворюючих розчинів в шарі бінарних інертних тіл, які включають у себе комбінацію фторопластових та алюмінієвих частинок.[1,2].

В.Є. Куцакова у своїх дослідженнях [2] представляє результати сушіння в киплячому шарі на поверхні інертних тіл з металу і скла. Варто відзначити, що ці матеріали мають кут змочування менший за 90°. Використання таких тіл у сушильних установках вимагає підвищення напору та швидкості теплоносія для створення псевдозрідженого шару, що, в свою чергу, збільшує енерговитрати.

Під час сушіння суспензій і розчинів у вихровому шарі інертних тіл розміри обладнання зменшуються в 1–2 порядки в порівнянні із сушарками, які використовують процес розпилення. [4].

Процес сушіння рідких і пастоподібних матеріалів за цим методом супроводжується роздрібненням висушеного продукту та його виведенням із фторопласту. З цього приводу, швидкість сушіння на гарячих алюмінієвих частинках та на суміші частинок повинна бути вищою, ніж на фторопласті.

Густина фторопласту і алюмінію є досить подібною.

Через значні відмінності у твердості, коефіцієнтах температурного розширення, теплофізичних характеристиках, змочуваності і адгезії між алюмінієвими та фторопластовими частинками можна очікувати покращення, що призведе до більш рівномірного відшаровування висушеного матеріалу.

3.2. Методика проведення досліджень

Висушування продукції біологічного походження є складним технологічним процесом, що включає в себе зневоднення специфічного класу продуктів. Цей клас продуктів відрізняється за фізико-хімічними, структурно-механічними, теплофізичними, біологічними та іншими властивостями.

Враховуючи процес сушіння, усі продукти біологічного походження можна розділити на дві категорії:

- Продукти, що після сушіння не вимагають збереження життєздатності мікроорганізмів чи високої активності препаратів, і використовуються як джерело високопоживного білка та мікроелементів.

- Продукти, які вимагають збереження життєздатності після висушування або високої активності препаратів до їх використання.

Згідно з такою класифікацією, для продуктів першої групи можна рекомендувати використання відносно жорстких режимів сушіння. В промисловості для цього типу продуктів застосовують стрічкові, розпилювальні сушарки, а також сушарки вібропсевдозрідженого шару матеріалу та вихрові. Щодо другої групи продуктів, які вимагають більш м'яких режимів сушіння, використовують вакуумні і сублімаційні сушарки в промисловому виробництві.

Підбір методу сушіння та типу сушарки повинен базуватися на наступних ключових факторах: аналізі можливостей використання стандартних сушарок, проведенні порівняльних досліджень на експериментальних установках для визначення технологічних параметрів режимів сушіння, умовах подачі та вивантаження продуктів, а також методах інтенсифікації процесу.

При визначенні способу сушіння та виборі типу сушарки першочергово аналізують продукт як об'єкт сушіння. Проводиться оцінка основних структурно-механічних, теплофізичних та фізико-хімічних характеристик об'єкта сушіння, а також дослідження кінетики сушіння в стаціонарних умовах. На підставі аналізу отриманих результатів здійснюється вибір оптимального способу сушіння.

Згідно з класифікацією П.А. Ребіндера, меланж має три характерні групи форм зв'язку з вологою: хімічний, фізико-хімічний та механічний.

Ступінь зв'язку вологи з матеріалом визначається кількісно за енергією, необхідною для руйнування цього зв'язку. Міцність зв'язку вологи з матеріалом значно впливає на кінетику процесів сушіння.

Для меланжу, а також для багатьох продуктів біологічного походження, визначення чіткої межі між завершенням видалення вільної вологи та початком видалення зв'язаної вологи є важливим завданням.

У продуктах біологічного походження значна частина вологості утримується за допомогою фізико-хімічних зв'язків, основними з яких є адсорбційні. Водень, який адсорбційно зв'язаний в клітинах, присутній як на їхній внутрішній, так і на зовнішній поверхні міцелей. Під час видалення цієї вологи клітина зазнає деформації, оскільки внутрішній тиск менше, ніж зовнішній. Для меланжу величина адсорбційно зв'язаної вологи становить приблизно 3%, оскільки при залишковій волозі в 2% клітина втрачає свою життєздатність. Це пов'язано з тим, що внаслідок видалення цієї кількості вологи гідрогелі переходять у нерозчинний стан, і білок переходить в звернену форму. Звернутий білок не може повернутися в гідрогель при повторному наволоженні.

Отже, процес висушування меланжу до залишкової вологості в межах 8-5% призводить до видалення позаклітинної вологи та значної частини вологи, яка міститься в клітинах. Це призводить до значних структурних змін в самому клітинному матеріалі.

Економічно обґрунтовано проводити процес сушіння при вищих температурах теплоносія з точки зору зменшення його питомих витрат на одиницю випареної вологи, підвищення продуктивності сушарки, а також зменшення її розмірів та енерговитрат. Однак важливо враховувати термостійкість продуктів сушіння, яка визначається максимально допустимою температурою їхнього нагрівання. Питання про допустиму температуру нагрівання слід розглядати в контексті конкретного методу сушіння, оскільки якість готового продукту також залежить від швидкості нагрівання і видалення вологи, а також від тривалості перебування в зоні максимальної температури.

Під час висушування в вихровому шарі частинки твердого матеріалу рухаються неперервно в об'ємі камери як у поздовжньому, так і в поперечному напрямку. Це призводить до рівномірного розподілу температури в середині шару і зниження температурних градієнтів як у поздовжньому, так і в радіальному напрямі. Збільшення ступеня перемішування частинок сприяє активізації теплообміну завдяки турбулізації потоку теплоносія.

Характерною особливістю для зміни температури теплоносія або концентрації вологи в ньому вздовж вихрового шару є надзвичайно швидкий перехід значень цих параметрів біля основи шару (активної зони), при цьому значення в основному об'ємі шару залишаються сталими. Вирівнювання температур і концентрацій по об'єму шару відбувається завдяки інтенсивній циркуляції частинок як у поздовжньому, так і в радіальному напрямках.

Задля вивчення процесу теплообміну під час сушіння меланжу на поверхні інертного матеріалу використовується експериментальна установка, структура якої зображена на рисунку 3.1.

Сушильна установка включає в себе основні компоненти: сушильну камеру 5, електротрокалорифер 14, вентилятор 9, збиральний бак 18, насос-дозатор 11 для подачі продукту в форсунки 7, компресор 19 для постачання повітря для розпилення, а також систему контролю та вимірювання 21.

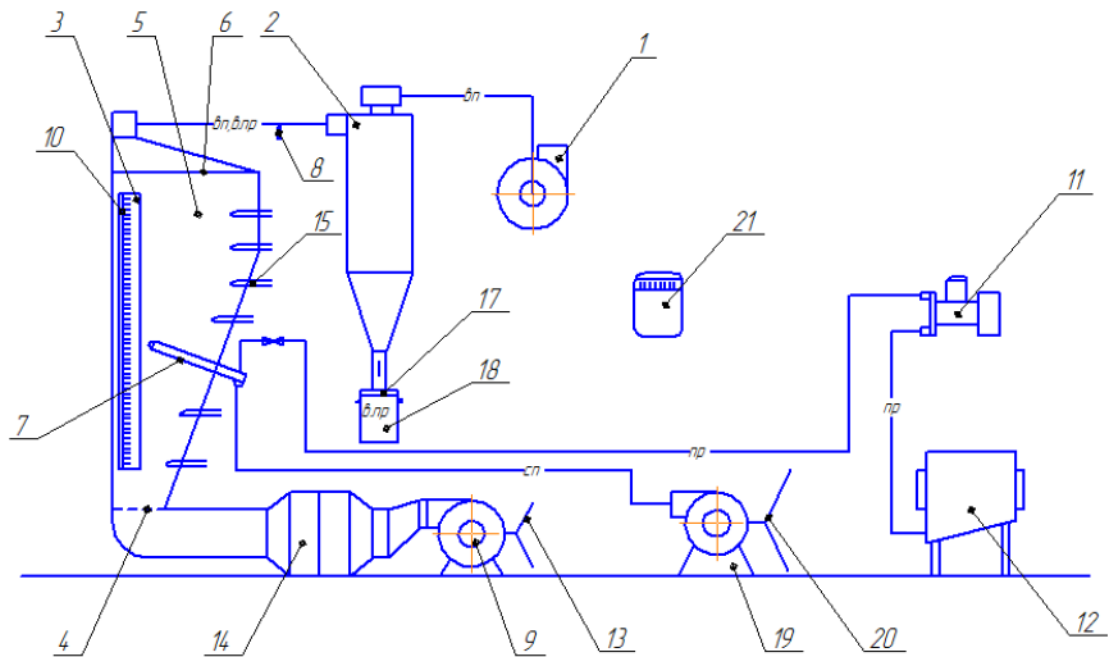


Рис.3.1. Експериментальна установка для вивчення теплообміну під час сушіння меланжу на поверхні інертного матеріалу представлена на схемі.

Принцип функціонування установки полягає в наступному: меланж завантажується в резервуар подачі 12, після чого з використанням насоса-дозатора 11 його транспортують на форсунки 7 для розпилення, супроводжуючи цей процес подачею стиснутого повітря.

Схема підготовки, транспортування і вентиляції повітря включає в себе вентилятор 9 зі згущувальним фільтром 13 для надання потоку повітря у сушильну камеру, витяжний вентилятор 1 і компресор 19 із фільтром 20, які забезпечують подачу стиснутого повітря на форсунку для розпилення меланжу.

Розпилений меланж, який подається в сушильну камеру 5, взаємодіє з шаром інертного матеріалу, на поверхні якого відбувається процес сушіння. Інертний матеріал в сушильній камері 5 перебуває у вихровому стані, що створюється завдяки потоку теплоносія. Поступаюче повітря нагрівається в калорифері 14. Висушений меланж виводять із сушильної камери за допомогою повітря. У верхній частині камери розміщена відбійна сітка 6, яка запобігає виносу частинок інертного матеріалу разом із відпрацьованим повітрям.

Висушений меланж після проходження сушильною камерою, разом з відпрацьованим повітрям, подається у циклон 2. У цьому етапі відбувається розділення меланжу та повітря, після чого відпрацьоване повітря відсмоктується витяжним вентилятором 1, а сам меланж направляється у збиральний бак 18.

Температуру подачі повітря для процесу сушіння і температуру у камері (по висоті вихрового шару) регулюють і контролюють за допомогою електронного потенціометра 21. В якості датчиків використовують термопари 8,15. Це дозволяє провести якісну та кількісну оцінку теплообміну між теплоносієм і частинками інертного матеріалу, дослідити зміни температурного поля по висоті вихрового шару і визначити висоту активної зони, де відбувається інтенсивний теплообмін.

Визначення висоти активної зони, де рівноважні температури та концентрації дифундуючих речовин практично досягаються, є ключовим для розрахунків процесів тепло- та масообміну між частинками та середовищем. Це також важливо для оптимального розміщення пристроїв для розпилення меланжу на поверхню частинок інертного матеріалу.

Запропоновано використовувати частинки фторопласту кубічної форми як інертний матеріал.

Дослідження швидкості прогрівання інертних частинок виконано для визначення часу, необхідного для підготовки установки до робочого стану перед подачею матеріалу через форсунки.

Для вимірювання зміни температури на поверхні та в середині інертної частинки використовувалися хромель-копелеві термопари, які були підключені до приладу КСП-4 з можливістю регулювання швидкості фіксації сигналу від термопар. Частинки разом з термопарами розташовувалися в сушильній шафі ВЛВ-100 з терморадіаційним нагріванням об'єкта дослідження.

Використання вихрового шару інертного матеріалу під час сушіння харчових продуктів значно підсилює тепло-масообмінні процеси, як вказує аналіз.

При розробці сушильних установок із використанням вихрового шару інертного матеріалу, важливими параметрами є зміна температури теплоносія вздовж висоти шару та висота активної зони тепломасообміну. Реальна різниця температур у шарі, що визначається переважно зміною температури теплоносія по висоті шару, служить ключовим фактором для розрахунку коефіцієнта теплообміну між теплоносієм та частинками.

Використання інертних частинок із фторопласту дозволяє використовувати теплоносій з високою температурою, що суттєво перевищує температуру плавлення продукту. Результати досліджень вказують на те, що температура поверхні інертних частинок залишається нижчою, ніж температура теплоносія на виході з сушарки. Зміна температури інертних частинок у нижній частині шару, де продукт контактує з високотемпературним теплоносієм, є незначною.

Ефективність сушіння рідких продуктів у вихровому шарі інертного матеріалу значно визначається тим, як змінюється температура вздовж його висоти.

З економічної точки зору раціонально проводити процес сушіння при підвищених температурах теплоносія, оскільки це призводить до зниження його витрат на одиницю випареної вологи, збільшення продуктивності сушарки і зменшення її габаритів та енерговитрат. Важливо, однак, враховувати термостійкість продуктів сушіння, оскільки вона характеризується максимально допустимою температурою їх нагрівання.

Під час сушіння у вихровому шарі частинки інертного матеріалу ведуть неперервний рух в об'ємі камери як у повздовжньому, так і в поперечному напрямку. Це призводить до вирівнювання температури в середині шару та зменшення температурних градієнтів як у напрямку повздовжньому, так і радіальному. Збільшення ступеня перемішування частинок сприяє інтенсифікації теплообміну через турбулізацію потоку теплоносія.

Характерною особливістю для зміни температури теплоносія або концентрації вологи в ньому по висоті вихрового шару є надзвичайно швидка зміна значень цих параметрів біля основи шару, що є активною зоною, та сталість цих значень у основному об'ємі шару. Процес вирівнювання температур і концентрацій в середині шару в обох напрямках (поздовжньому і радіальному) відбувається завдяки інтенсивній циркуляції частинок. [3].

У процесі висушування рідкого продукту на поверхні інертного матеріалу в потоці теплоносія елементарна поверхня теплообміну (позначена як dF_T) може бути виражена залежністю від маси та фізико-механічних характеристик матеріалу частинок. При цьому кількість частинок, які знаходяться в одиниці об'єму шару при постійній середній пористості, визначається за допомогою формули (3.1):

$$n_0 = \frac{M_{\text{ш}}}{\rho_i V_i S_p H_{\text{ш}}} \quad (3.1)$$

де V_i – об'єм однієї частинки інертного матеріалу, м^3 ;

$M_{\text{ш}}$ – маса інертних частинок у вихровому шарі, кг;

$H_{\text{ш}}$ – висота шару інертного матеріалу, м ;

S_p – площа газорозподільної решітки, м^2 ;

ρ_i – густина матеріалу інертної частинки, $\text{кг}/\text{м}^3$.

У такому випадку, площа поверхні частинок кубічної форми зі стороною "а" в елементарному об'ємі визначається як м^2 :

$$dF_T = \frac{6M_{\text{ш}}}{\rho_i a H_{\text{ш}}} dh. \quad (3.2)$$

Під час інтегрування у відповідних межах рівняння теплового балансу між частинками твердого матеріалу і теплоносієм в елементі вихрового шару інертних частинок, і з урахуванням рівняння (3.2), отримаємо:

$$\int_{t_1}^{t_h} \frac{dt_h}{t_h - t_T} = - \frac{6\alpha M_T}{\rho_i a M_{\text{ш}} c_{\text{ш}}} \cdot \frac{h}{H_{\text{ш}}} \int_0^h dh \quad (3.3)$$

де $M_{\text{ш}}$ – витрата теплоносія, $\text{м}^3/\text{с}$;

$c_{\text{ш}}$ – теплоємність теплоносія, $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ і визначаємо залежність, де температура теплоносія по висоті шару t_h виражена через температуру частинок:

$$t_h = t_T + (t_1 - t_T) \exp \left[-\frac{6\alpha M_{ш}}{\rho_i \alpha M_{п} c_{п}} \cdot \frac{h}{H_{ш}} \right], \quad (3.4)$$

де t_h, t_T – температура теплоносія по висоті вихрового шару h , інертної частинки в шарі, °С;

t_1 – температура теплоносія початкова, °С.

CFD дослідження руху повітря в сушильній установці

Для дослідження процесів перенесення в сушильній установці з вихровими потоками інертного матеріалу було проведено чисельне моделювання методом обчислювальної гідродинаміки (CFD).

Геометрична модель Була побудована тривимірна геометрична модель сушильної установки з урахуванням усіх конструктивних елементів, що можуть впливати на характер руху потоків.

Сітка Для дискретизації обчислювальної області була побудована нерівномірна тетраедальна сітка з локальним подрібненням біля стінок та в областях зі складною геометрією. Загальна кількість комірок склала 2,5 млн.

Модель турбулентності Для моделювання турбулентних пульсацій використовувалась k-epsilon модель турбулентності зі стандартними константами.

Граничні умови На вході задавались профілі швидкості та температури. На твердих межах застосовувалась умова прилипання і відсутності просковзування.

Результати CFD моделювання В результаті CFD моделювання отримані такі основні характеристики:

- Поля швидкостей у різних перерізах установки
- Розподіл тиску по довжині установки
- Поля температур і лінії току
- Інтенсивність турбулентних пульсацій

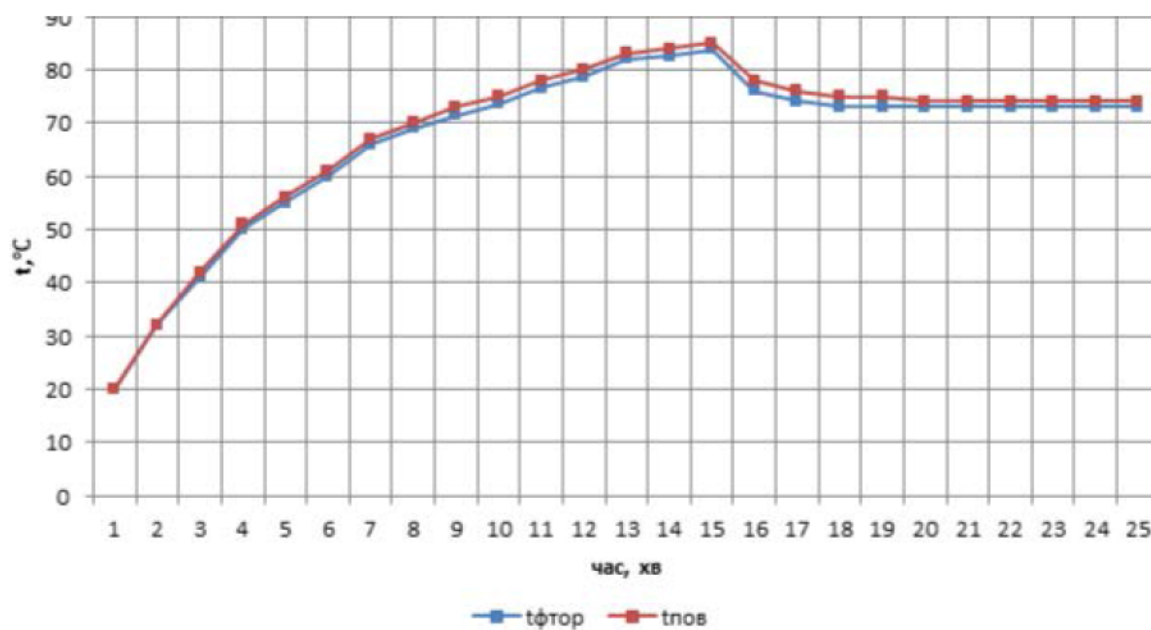
Аналіз результатів моделювання Аналіз отриманих даних дозволяє зробити висновок про характер руху потоків всередині сушильної установки,

визначити області з найбільш інтенсивним перемішуванням, оцінити вплив конструкції установки на гідродинаміку та теплообмін.

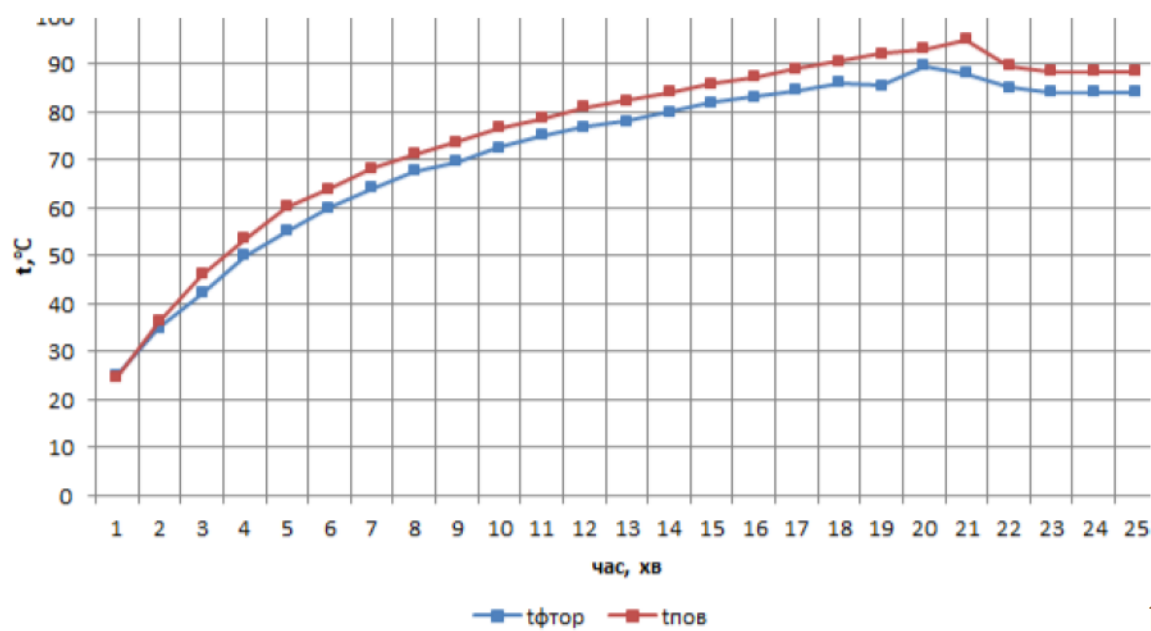
Таким чином, CFD моделювання надає цінну інформацію для оптимізації конструкції та режимів роботи сушильної установки.

3.3. Результати теоретичних та експериментальних досліджень

Для визначення матеріалу та розмірів інертних тіл проведено дослідження зі зміни температури інертного тіла по об'єму нагрівання. Графіки (рис. 3.2.-3.4.) відображають залежність температури від об'єму нагрівання для частинок фторопласту кубічної форми розміром 3, 4 і 6 мм.

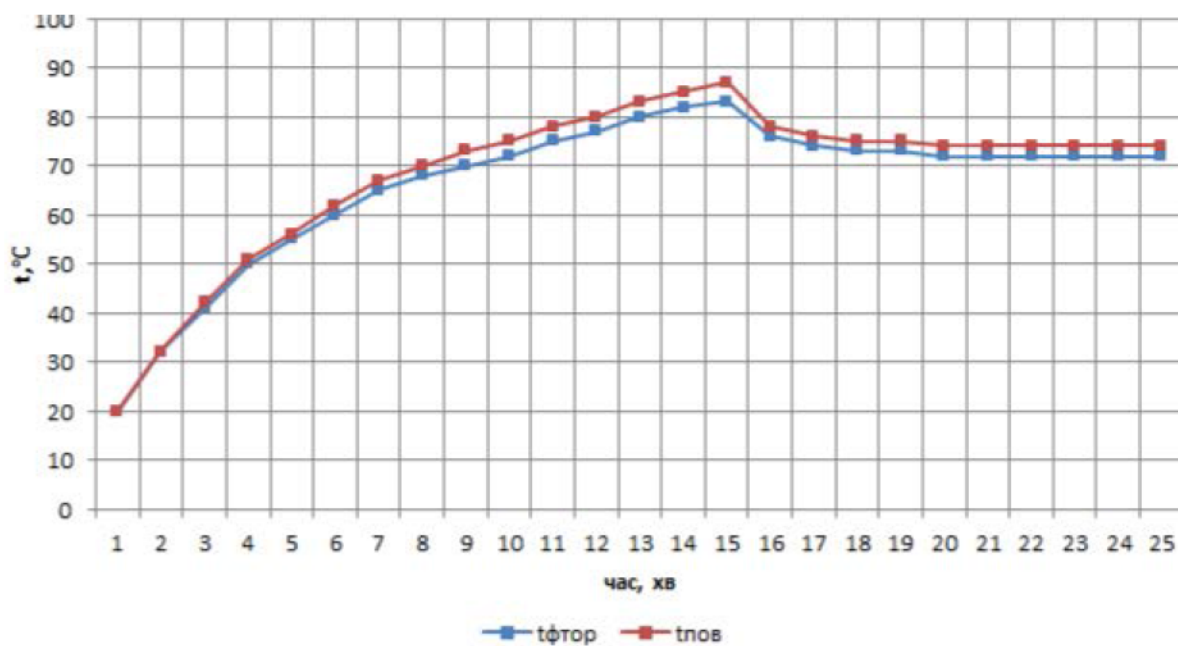


а)

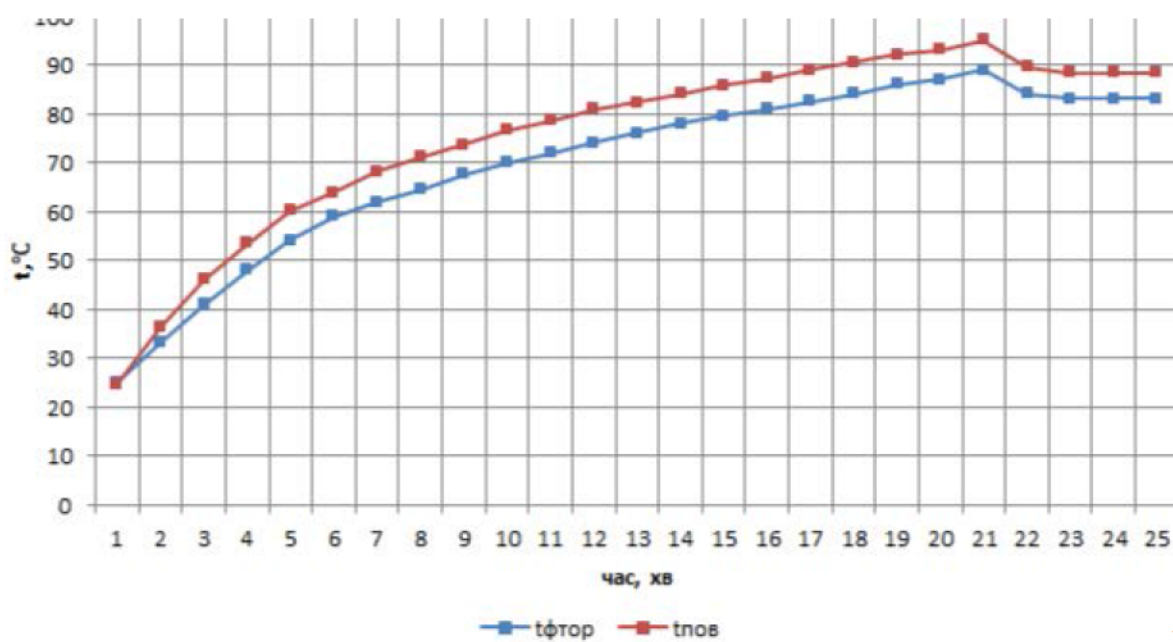


б)

Рис.3.2. Температурні зміни кубіка фторопласта розміром сторін 3 мм демонструють збільшення температури на поверхні з 85 °С до 95 °С.

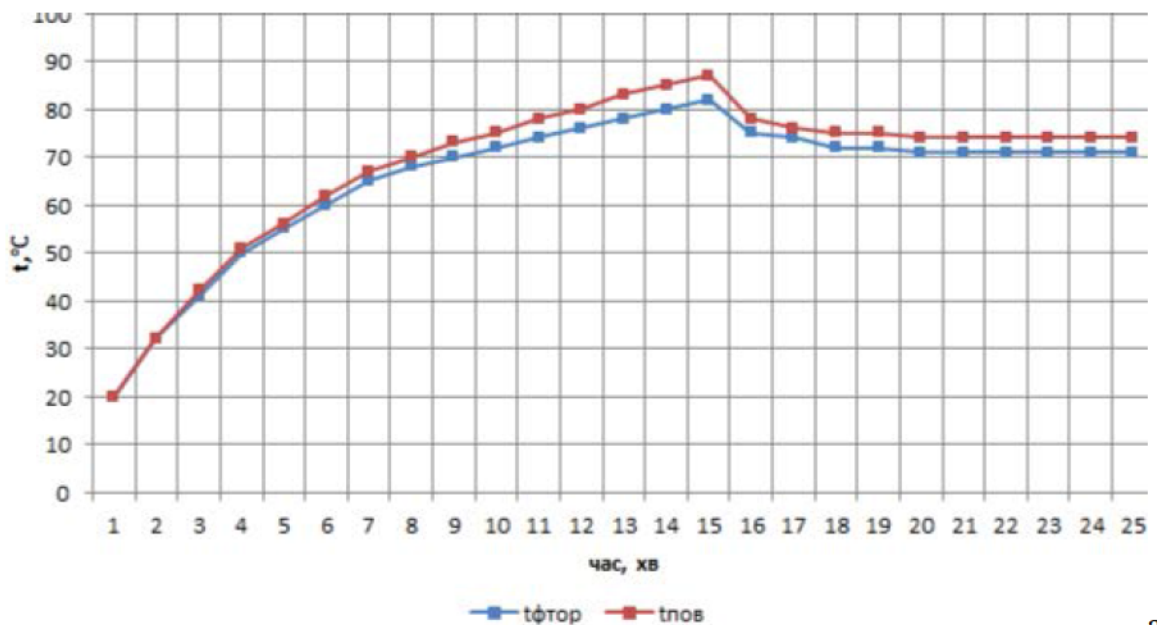


a)

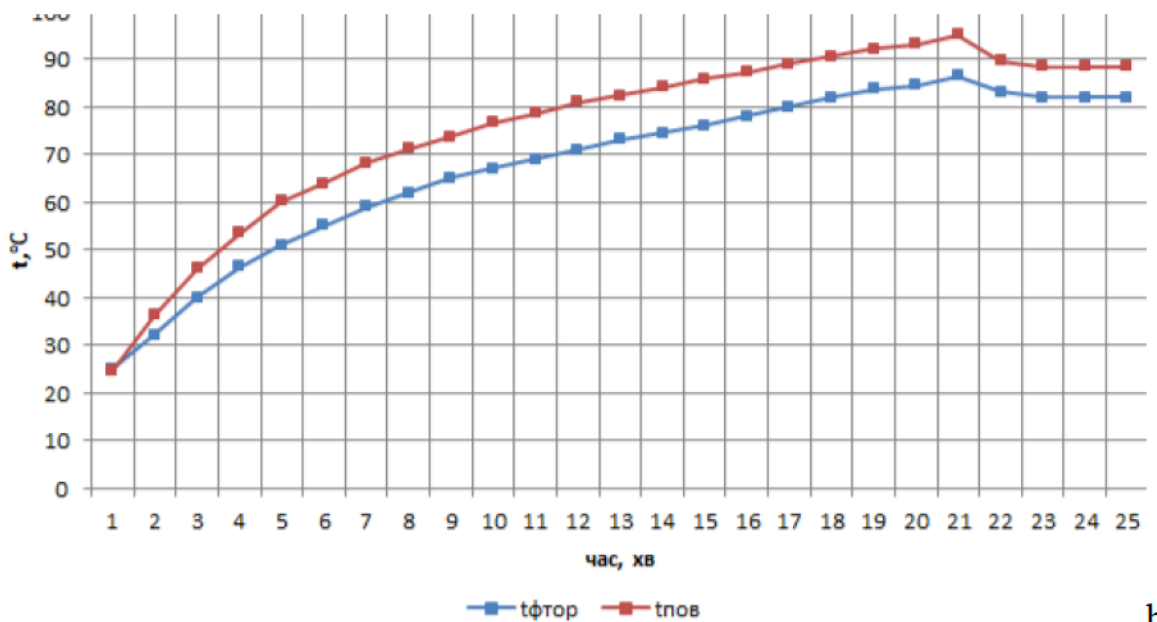


b)

Рис.3.3. Зміна температури кубіка фторопласта розміром сторін 4 мм вказує на збільшення температури на поверхні з 85 °С до 95 °С.



a)



b)

Рис.3.4. Зміна температури кубика фторопласта розміром сторін 6 мм показує збільшення температури на поверхні з 85 °С до 95 °С.

Аналіз зібраних кривих нагріву (рис. 3.1-3.3) вказує на те, що температура кубика фторопласта в середині та на його поверхні різна. Цю різницю обумовлено теплофізичними характеристиками, які були описані вище, а також розмірами та температурою теплоносія.

При розмірі кубика 3 мм різниця між температурою його внутрішньою частини та поверхнею є мінімальною і складає 2...3 °С, тоді як для кубика розміром 6 мм вона зростає до 4...6 °С. Для кубика розміром 4 мм ця різниця становить 3...5

°C. Кубик фторопласту з розміром сторін 3 мм швидше прогрівається та охолоджується при контакті з продуктом порівняно з кубиком розміром 6 мм, який прогрівається і охолоджується повільніше. Проте, при розмірі 6 мм необхідні вищі швидкості та температури теплоносія, що може збільшити тривалість прогрівання сушильної камери. Таким чином, використання кубиків фторопласту зі стороною 4 мм є оптимальним варіантом.

З метою вивчення теплообміну між теплоносієм і частинками інертного матеріалу було проведено аналіз зміни температурного поля вздовж висоти вихрового шару. Також була визначена висота активної зони, де відбувається інтенсивний теплообмін.

Визначення висоти активної зони, де досягаються практично рівноважні температури та концентрації речовини, є необхідним як для розрахунку процесів тепло- і масообміну між частинками та середовищем, так і для оптимального розташування пристроїв для розпилення меланжу на поверхню частинок інертного матеріалу. Висота активної зони теплообміну ($H_{аз}$) визначається за допомогою рівняння (3.4):

$$H_{аз} = 1,67 \cdot 10^{-3} \frac{t_1 v \rho_n c_{пa}}{(1 - \epsilon_{ш})} \quad (3.5)$$

Дослідження сушіння меланжу в вихровому шарі інертних частинок здійснювались на експериментальній установці в умовах безперервного режиму за наступними припущеннями:

- через низький термічний опір плівки матеріалу, градієнт температури в ній прямує до нуля;
- теплофізичні характеристики теплоносія і матеріалу залишаються постійними;
- втрата теплоти шаром в навколишнє середовище відсутня.

Аналіз отриманих даних вказує на те, що температура різко змінюється для всіх початкових висот шару на відстані 160-180 мм від газорозподільної решітки і поступово переходить до постійного значення зі зростанням висоти

шару (рис. 3.5). Вплив температури може бути достовірно описаний за допомогою експоненціального рівняння (3.4).

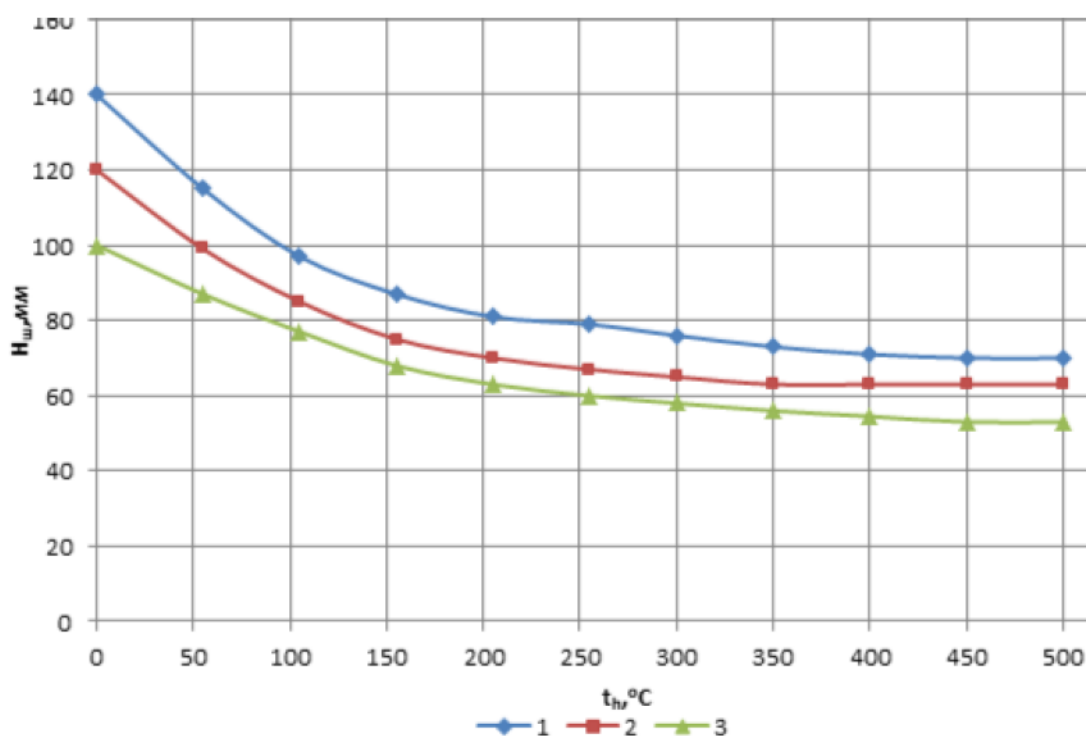


Рис.3.5. Зміна температури теплоносія відбувається по висоті вихрового шару інертного матеріалу при швидкості теплоносія в зоні газорозподільчої решітки на рівні 17,3 м/с та початкових температурах, °C: 1 -140; 2–120; 3– 100.

При відповідних швидкостях теплоносія, які забезпечують інтенсивне перемішування інертних частинок, збільшення початкової температури від 100°C до 140°C призводить до зростання поглинання теплоти, яке концентрується в шарі. Це, в свою чергу, призводить до підвищення інтенсивності процесу сушіння. Збільшення цієї інтенсивності можна оцінити за допомогою коефіцієнтів теплообміну, які визначаються на основі їх локальних значень через усереднення по поверхні теплообміну.

Середні значення коефіцієнтів теплообміну визначалися на основі кутових показників зміни температури теплоносія вздовж висоти вихрового шару інертного матеріалу, що були представлені в напівлогарифмічній системі координат $\ln \frac{t_h - t_T}{t_1 - t_T} = \left[-\frac{6\alpha M_{ш}}{\rho_i \alpha M_n c_n} \cdot \frac{h}{H_{ш}} \right]$, отримані значення коефіцієнтів теплообміну були визначені за допомогою трансформації рівняння (3.4). Цей

підхід дозволив отримати досить точні результати, оскільки в основу був покладений принцип зміни температури теплоносія вздовж висоти шару при ідеальному перемішуванні інертних частинок та прокладанні теплоносійного потоку (рис.3.6). При цьому значення коефіцієнтів теплообміну для оптимального гідродинамічного режиму при температурах теплоносія 100, 120, 140 °С та швидкості теплоносія 18,0 м/с складає відповідно 82,7, 86,9, 101,3 Вт/(м²·град), для 17,3 м/с – 89,5, 97,8, 120,5, а для 15,0 м/с – 109,4, 121,8, 138,3 Вт/(м²·град). Це свідчить про збільшення цих значень зі зростанням температури та зниженням швидкості теплоносія.

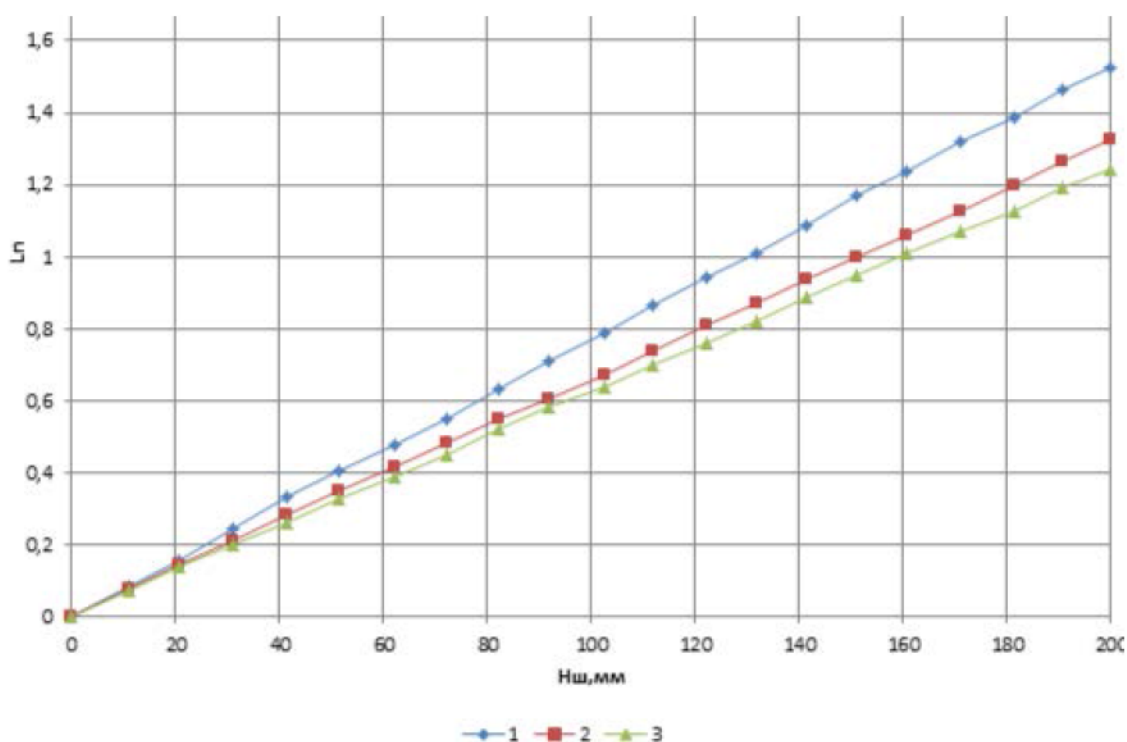


Рис.3.6. Зміна температури теплоносія в зоні активного тепло-масообміну вихрового шару інертного матеріалу при швидкості теплоносія в області газорозподільчої решітки 17,3 м/с та початкових температурах, °С: 1 – 140; 2 – 120; 3 – 100.

З аналізу отриманих результатів можна висновувати, що при оптимальному вихровому режимі збільшення швидкості теплоносія сприяє активному перемішуванню частинок у шарі, що призводить до інтенсифікації теплообміну та підвищення температури висушеного меланжу.

У той час висота області активного теплообміну майже незмінно залишається в діапазоні від 160 до 180 мм при зміні швидкості теплоносія від 15,0 м/с до 18,0 м/с.

Завдяки значній питомій поверхні частинок інертного матеріалу як носія розпиленого продукту, відбувається високоінтенсивний процес теплообміну між ними та теплоносієм. Це сприяє швидкому вирівнюванню температури теплоносія в області активного теплообміну. Внаслідок цього температура висушеної плівки меланжу залишається майже сталою по висоті шару. З практичної точки зору інженерних розрахунків сушильних установок, ця температура може бути прирівняна до температури теплоносія на виході з шару. Наприклад, для швидкості теплоносія 16,7 м/с та температури теплоносія 120 °С середнє значення температури частинки складає приблизно 62 °С.

Отже, враховуючи характер циркуляції інертного матеріалу в вихровому шарі та зміни температури теплоносія по висоті шару, рекомендується розміщувати форсунки для подачі рідкого продукту в діаметральній площині над зоною активного теплообміну Наз. Висота цієї зони може змінюватися в межах 160-180 мм при використанні частинок фторопласту зі стороною $a = 4,0$ мм та змінах температури від 120 до 140 °С.

Результати CFD дослідження руху повітря в сушильній установці

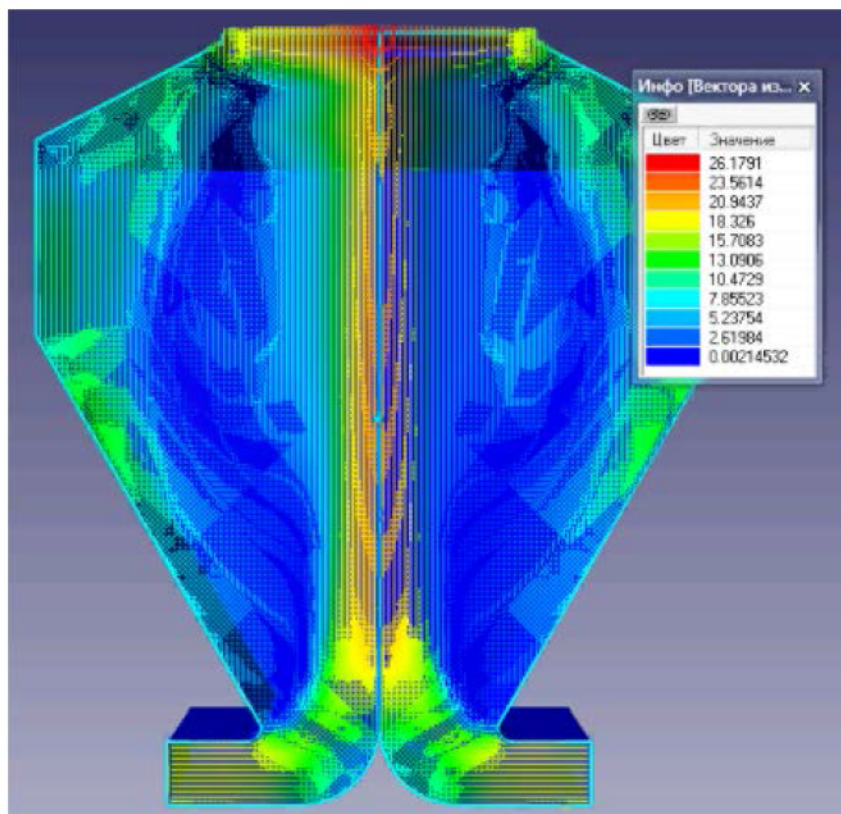


Рис.3.7. Розподіл швидкості у вигляді векторів

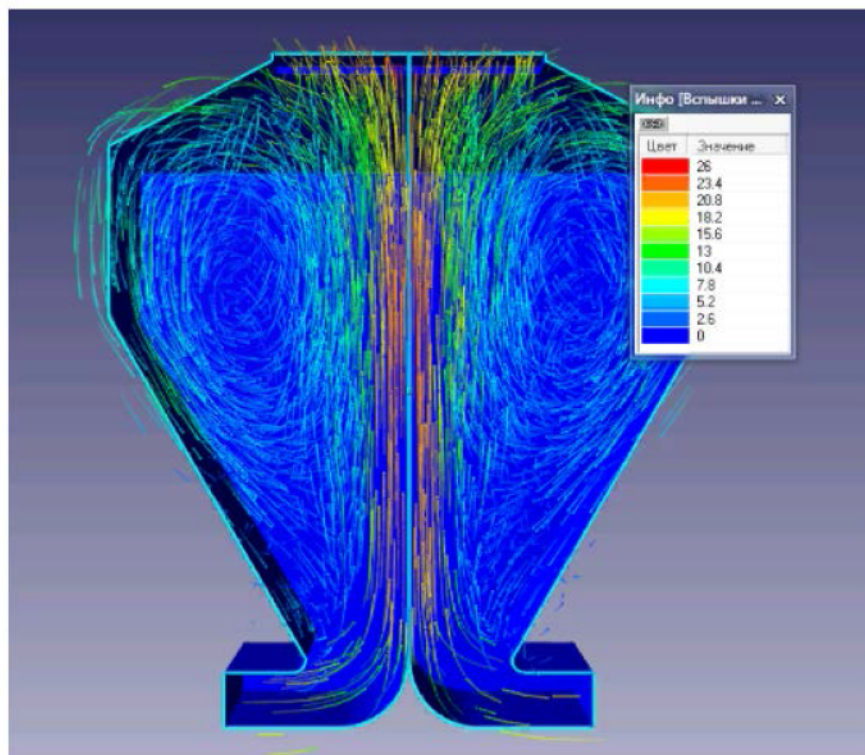


Рис.3.8. Розподіл швидкості у вигляді спалахів

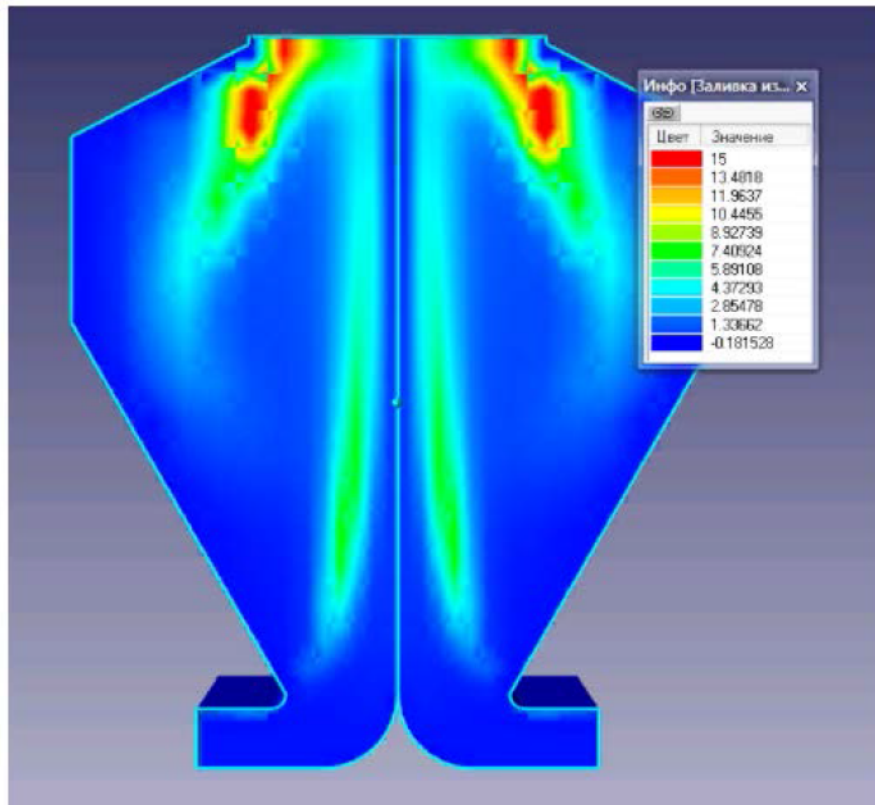


Рис.3.9. Дисипація у вигляді заливки

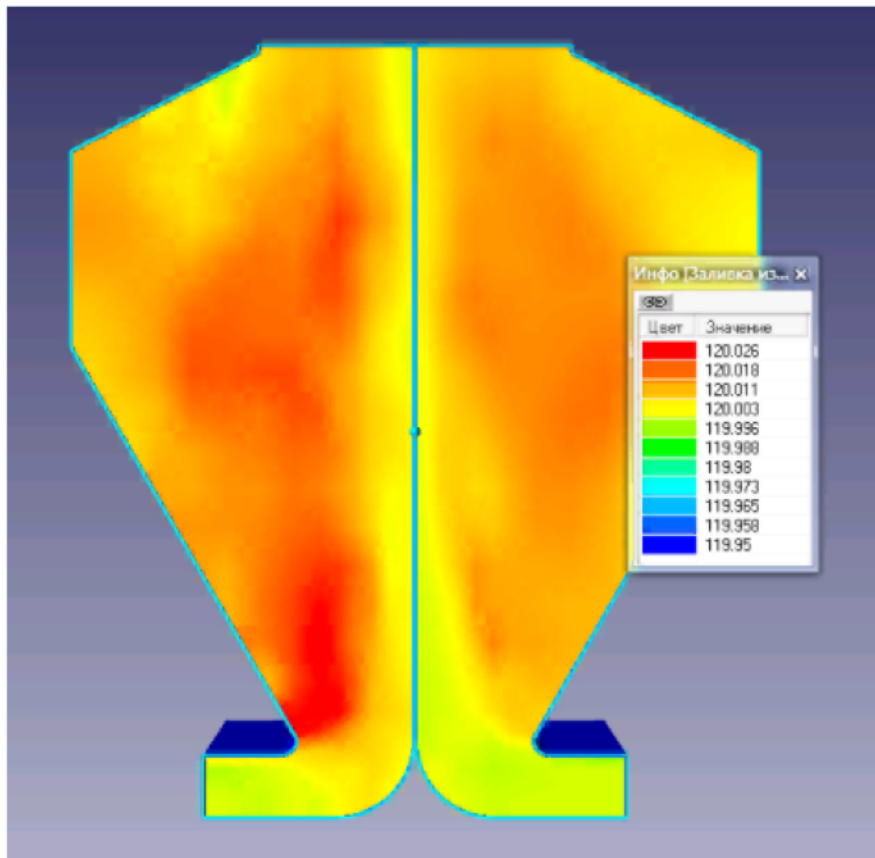


Рис.3.10. Розподіл температури у вигляді заливки

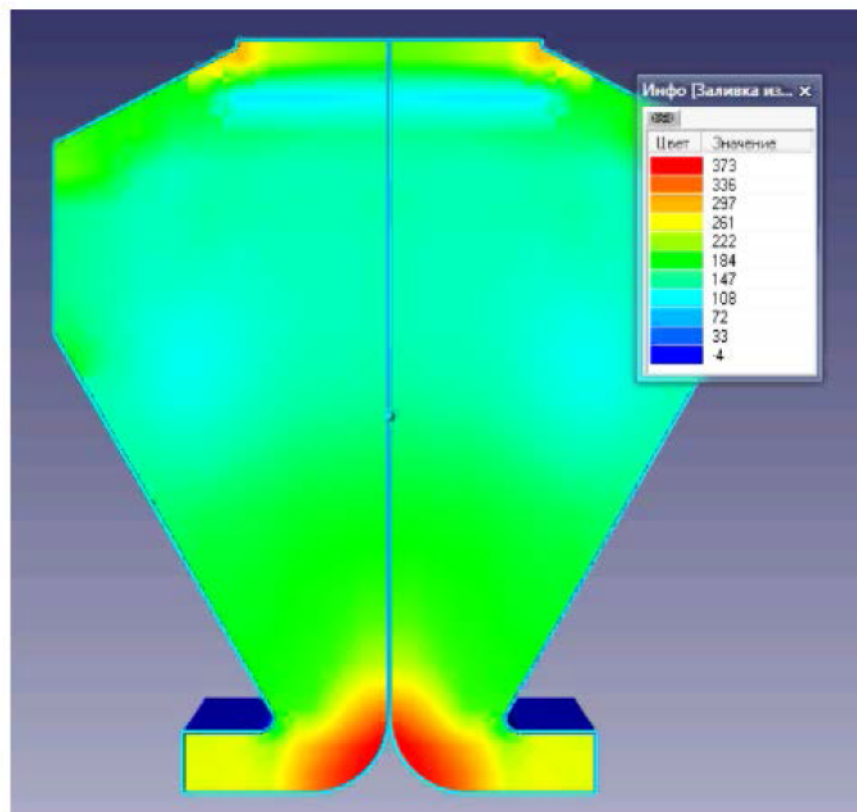


Рис.3.11. Розподіл тиску у вигляді заливки

3.4. Устрій та принцип роботи удосконаленого об'єкту

Устрій та принцип роботи удосконаленої установки для сушіння харчових продуктів у вихровому шарі інертних частинок

Удосконалена установка для сушіння харчових продуктів у вихровому шарі інертних частинок складається з наступних основних вузлів:

1. Камера сушіння з завантаженням інертного матеріалу. Камера виготовлена з нержавіючої сталі у формі циліндра діаметром 300 мм та висотою 500 мм. У нижній частині камери встановлена газорозподільна решітка для подачі та рівномірного розподілу теплоносія по перерізу. Камера обладнана люками для завантаження та розвантаження інертного матеріалу.
2. Модернізована система подачі та підігріву теплоносія на базі теплового насоса, яка складається з вентилятора, повітропроводів, теплообмінника теплового насоса, нагрівника додаткової потужності та контрольно-вимірювальних приладів. Система забезпечує регулювання

температури теплоносія в межах 25-150°C та його витрати 0,01-0,25 м³/с.

3. Модернізована система дозування продукту для безперервного дозування рідких та пастоподібних продуктів. Система складається з ємності з продуктом, витратоміра, дозуючого насоса, форсунки для розпилення та автоматики. Система забезпечує рівномірне безперервне дозування з продуктивністю від 0,5 до 10 кг/год.
4. Модернізована система збору та транспортування висушеного продукту. Система складається з пневмотранспортера, циклонного сепаратора, бункера-накопичувача, шлюзового дозатора та системи рециркуляції дрібної фракції. Система забезпечує безперервний вивантаження готового продукту.
5. Система автоматичного керування на базі мікропроцесорного контролера, яка здійснює керування технологічними параметрами, контроль безпеки та аварійне відключення установки.

Принцип роботи модернізованої установки полягає в наступному:

Теплоносій (повітря) всмоктується вентилятором і подається в теплообмінник теплового насоса, де нагрівається за рахунок утилізації низькопотенційного тепла до температури 45-60°C. Далі теплоносій проходить через додатковий нагрівник, в якому досягає необхідної температури сушіння 100-150°C.

Нагрітий теплоносій надходить в нижню частину камери сушіння, проходить через газорозподільну решітку і рівномірно розподіляється по перетину шару інертного матеріалу, створюючи його вихровий рух. Інертний матеріал (гранули з фторопласту) безперервно циркулює в камері.

Одночасно за допомогою системи дозування на поверхню інертного матеріалу безперервно розпилюється рідкий або пастоподібний продукт (наприклад, яєчний меланж). Краплі продукту, осідаючи на поверхні нагрітих

гранул інертного матеріалу, швидко висушуються. Одночасно відбувається подрібнення висушеного продукту внаслідок тертя між гранулами.

Висушений продукт разом з частинками інертного матеріалу виноситься з камери сушіння потоком теплоносія та надходить в циклонний сепаратор. Тут відбувається відділення частинок висушеного продукту від інертного матеріалу. Інертний матеріал повертається в камеру сушіння через рециркуляційну трубу, а готовий висушений продукт осідає в бункері-накопичувачі. З бункера продукт періодично вивантажується шлюзовим дозатором на наступну стадію виробництва.

Для запобігання винесення дрібної фракції готового продукту з установки, передбачено рециркуляцію частини дрібної фракції назад в камеру сушіння.

Система автоматичного керування на базі мікропроцесорного контролера здійснює:

- підтримання заданих технологічних параметрів (температури і витрати теплоносія, продуктивності системи дозування);
- контроль температури в критичних точках установки;
- захист технологічного обладнання від аварійних режимів;
- блокування подачі продукту при відхиленні параметрів за допустимі межі;
- відображення технологічних параметрів та сигналізацію;
- автоматичне вимкнення установки в аварійній ситуації.

Таким чином, за рахунок комплексної модернізації установки для сушіння у вихровому шарі було досягнуто:

- підвищення енергоефективності процесу за рахунок утилізації низькопотенційного тепла;
- можливість безперервного режиму роботи;
- підвищення продуктивності;
- автоматизація керування та контролю за рахунок мікропроцесорної системи.

3.5.Висновки

У результаті дослідження процесу сушіння харчових продуктів у вихровому шарі інертних частинок встановлено, що оптимальний вибір матеріалу, форми та розмірів частинок суттєво впливає на ефективність процесу та якість кінцевого продукту. Здійснено аналіз існуючих методів сушіння харчових продуктів, визначено переваги використання вихрового шару інертних частинок для отримання дрібнодисперсних сухих харчових продуктів.

Експериментальним шляхом встановлено оптимальний розмір інертних частинок, що значуще сприяє інтенсифікації процесу сушіння. Досліджено кінетику нагрівання частинок фторопласту різних розмірів, виявивши, що частинки розміром 4 мм мають оптимальні характеристики для забезпечення ефективного теплообміну в умовах контакту з вологим продуктом.

На основі отриманих результатів розроблено удосконалену установку для сушіння яйцевого меланжу, яка використовує вихровий шар інертного матеріалу. Вивчено теплові процеси у системі та запропоновано конструктивні рішення для підвищення енергоефективності та продуктивності процесу, включаючи використання теплового насоса та систему автоматичного керування.

Отримані результати становлять основу для рекомендацій щодо оптимальних параметрів сушіння харчових продуктів у вихровому шарі інертних частинок та можуть бути використані для подальших наукових досліджень та практичної реалізації в промисловості.

4. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

Початкові умови:

Виробнича ефективність за обсягом сухого продукту, кг/год	10
Найвища температура, досягнута при підігріванні повітря сушильного агента, °С.....	120
Температура повітря після використання його у процесі, t_k °С.....	64
Температура атмосфери всередині приміщення, t_0 °С.....	20
Тиск насиченої пари при вході в тепловентилятор, МПа.....	0,4
Густина суміші, ρ_m кг/м ³	1010
Теплова ємність змішаного матеріалу, C_m кал/(кг°С), (Дж/(кгК)).....	870(3645)
Коефіцієнт динамічної в'язкості суміші, μ_m (кгс·с)/м ² , (Н/с·м ²).....	
	800·10 ⁻⁴ (7848·10 ⁻⁴)
Коефіцієнт теплопровідності, λ_m кал/(см·с·°С), (Дж/(с·м ²)).....	
	0,5490(2,3·10 ⁻⁶)
Коеф. температуропровідності, a_m м ² /с.....	
	0,28·10 ⁻⁶
Вологість на початковому етапі змішування, ω_1 %.....	75
Вологість на завершальному етапі змішування, ω_2 %.....	8
Початкова температура суміші, $\theta_{п}$ °С.....	20
Кінцева температура суміші, θ_k °С.....	62
Питома теплота пароутворення, r Дж/кг.....	2,71·10 ⁶
Теплоємність теплоносія, $C_{п}$ Дж/(кг·К).....	1·10 ³

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ	<i>Технічне узгодження</i> Якимчук Р. Л.	<i>Вид документа</i> <i>Пояснювальна записка</i>	<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i> НУХТ	<i>Розробник документа</i> Кодтун Р.В.	<i>Назва, додаткова назва</i> РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА	221872.КР.12.004 ПЗ			
	<i>Документ затверджено</i> Якимчук В.М.		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> UA	<i>Аркуш</i> 1/25

4.1. Розрахунок продуктивності удосконаленої сушильної установки

Продуктивність установки по вихідному продукту, кг/год:

$$G_1 = G_2 \frac{100-w_2}{100-w_1} = 10 \frac{100-8}{100-75} = 36,8 \frac{\text{кг}}{\text{год}} = 0,010 \text{ кг/с} \quad (4.1)$$

Кількість випареної вологи, кг/год:

$$W = G_1 - G_2 = 36,8 - 10 = 26,8 \text{ кг/год.} \quad (4.2)$$

Враховуючи, що сумарна маса вологого матеріалу представлена як сума маси вологи та маси сухих речовин ($M_{\text{ср.}}$), вологовміст можна розрахувати так:

$$U = \frac{M_{\text{в.}}}{M_{\text{ср.}}} \cdot 100, \% \quad (5.3) \quad \text{або} \quad U = \frac{M_{\text{в.}}}{M_{\text{ср.}}}, \frac{\text{кг}}{\text{кг}}. \quad (4.3)$$

Визначимо масу сухих речовин з рівняння визначення вологості матеріалу:

$$M_{\text{ср.}} = \frac{M_{\text{в.}} \cdot 100 - w_1 \cdot M_{\text{в.}}}{w_1} = \frac{27,6 \cdot 100 - 75 \cdot 27,6}{75} = 9,2 \text{ кг/год} \quad (4.5)$$

$$M_{\text{в.}} = M_{\text{в.}}' + M_{\text{в.}}'' \quad (4.6)$$

де $M_{\text{в.}}'$ - маса води, яка видаляється з матеріалу при зменшенні вологості його від 75% до 8%;

$M_{\text{в.}}''$ - маса води, яка видаляється з матеріалу при зменшенні вологості його від 8% до 0% (абсолютно сухий матеріал).

$G_2' = G_2 \frac{100-w_2}{100-w_2'}$, при $w_2' = 0$ (абсолютно сухий матеріал).

$$G_2' = G_2 \frac{100-w_2}{100-w_2'} = 10 \frac{100-8}{100} = 9,2 \text{ кг/год} \quad (4.7)$$

$$M_{\text{в.}}'' = G_2 - G_2' = 10 - 9,2 = 0,8 \text{ кг/год} \quad (4.8)$$

$$U_1 = \frac{M_{\text{в.}}}{M_{\text{ср.}}} = \frac{27,6}{9,2} = 3,0 \quad (4.9)$$

$$U_2 = \frac{M_{\text{в.}}''}{M_{\text{ср.}}} = \frac{0,8}{9,2} = 0,087 \quad (4.10)$$

де U_1, U_2 - відповідно початковий та кінцевий вологовміст, кг/кг.

$$M_{\text{с.}} = M_{\text{в.}}' + M_{\text{ср.}} = 26,8 + 0,8 = 27,6 \text{ кг/год}$$

При використанні відносних температур теплоносія на початку ($t_n = 120 \text{ }^\circ\text{C}$) та в кінці ($t_k = 64 \text{ }^\circ\text{C}$), масові витрати теплоносія визначаються з енергетичного балансу установки. При цьому враховується втрата 10% тепла через стінки установки:

$$L = \frac{G_1[U_1 - U_2]_2 + U_1 * C_m * (Q_k - Q_n)}{0.9 * C_p * (t_n - t_k)} = \frac{1.02 * 10^{-2} [(3.0 - 0.087) * 2.7 * 10^6 + 3 * 3645 * (62 - 20)]}{0.9 * 1 * 10^3 * (120 - 64)} = 1.2 \frac{\text{кг}}{\text{с}} \quad (4.11)$$

Встановлюємо швидкість виходу повітря з сушарки на рівні $V_{\text{вих}} = 1,5 \text{ м/с}$ і довжину газорозподільчої решітки $l_p = 0,55 \text{ м}$.

Із оптимізаційної моделі визначаємо оптимальне заповнення сушильної камери інертом:

$$\frac{V_{\text{ін}}}{V_y} = 7 * 10^{-2} \quad (4.12)$$

Із номограми заповнення установки визначаємо:

$$\frac{V_{\text{мп}}}{V_y} = 4,5 * 10^{-2} \quad (4.13)$$

$$\frac{V_{\text{вз}}}{V_{\text{ін}}} = 0,64 \quad ; \quad (4.14)$$

а також залежність $\frac{\beta}{(K_n * \xi_n)} = 8,2 * 10^{-3} \text{ м}^3 / (\text{кг} * \text{с}); \quad (4.15)$

Визначаємо вміст вологи в повітрі до та після процесу сушіння:

- до сушіння $X_{\text{вх}} = 9 \cdot 10^{-3} \text{ кг/кг};$

$$X_{\text{внх}} = x_{\text{вх}} + G * (U_1 - U_2) / L = 9 * 10^{-3} + 1.02 * 2.913 * 10^{-2} / 1.2 = 0.0276 \text{ кгт / кг} \quad (4.16)$$

Тиск парово-повітряної суміші на виході з установки:

$$p_c = p_n - \Delta p_y = 9 * 10^4 \text{ Па} \quad (5.18)$$

$$p_r = \frac{x_{\text{внх}} * p_c}{0,622 + x_{\text{внх}}} = \frac{0,6276 * 9 * 10^4}{0,622 + 0,6276} = 3824 \text{ Па} \quad (4.17)$$

Визначаємо значення $I(\theta_k; p_r)$ з графічних залежностей від θ_k та p_r :

$$I(\theta; p_r) \Big|_{\substack{\theta_k=62 \text{ }^\circ\text{C} \\ p_r=3824 \text{ Па}}} = 3,3 \cdot 10^{-5} \text{ Па}^{-1} \quad (4.18)$$

Сталість процесу сушіння в установці гарантується в тому випадку, коли тривалість сушіння плівки (τ_n), яку одночасно нанесено на поверхню інертної частинки, менше за інтервал часу (τ_y) між послідовними зрошеннями частинки в факелі розпилу продукту. Знаючи, що експериментальний середній час перебування продукту в установці (τ) становить 100-200 секунд, а плівка, що сколюється, має декілька шарів з середнім значенням (R_n), яке визначається виразом $R_n = \tau / \tau_y$, обчислення часу перебування продукту в апараті проводимо за формулою:

$$\tau_n = \frac{\varphi_n * k_n * R_n * (Q_k + 273)}{\beta * (I + U_1)} I(Q_k : P_t) \quad (4.19)$$

де R_n – газова стала пари води ($R_n = 4,62 \cdot 10^2$ Дж/(кг·К));

$$r = \frac{I}{8,2 * 10^{-3}} = \frac{462 * (62 + 273)}{(I + 3)} * 3,3 * 10^{-5} = 155c \quad (4.20)$$

Враховуючи час перебування (τ) та заповнення установки продуктом, визначаємо об'єм сушильної камери, необхідний для досягнення поставленої продуктивності:

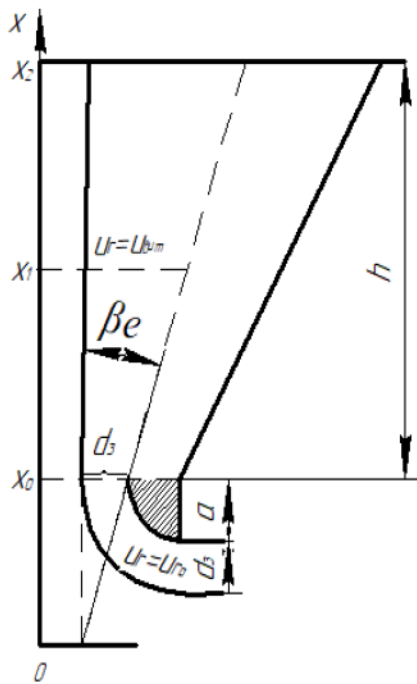
$$V_y = \frac{G_1 * \tau}{[\rho + (V_{np} / V_y)]} = \frac{0,01 * 155}{870 + 4,5 * 10^{-2}} = 0,04 m^3 \quad (4.21)$$

де ρ_T – густина висушеного меланжа, кг/м³.

При визначенні розмірів конічної частини камери, об'єм якої відомий, ми користуємося досвідом, що базується на розробці та експлуатації аналогічного обладнання:

1. Оптимальний кут розкриття дифузора становить $\beta = 30$ градусів.
2. Максимальна довжина решітки l_p , при якій забезпечується сталий режим вихрового псевдозрідження, дорівнює 0,55 метра.
3. Максимальне відношення довжини решітки l_p до ширини b дифузора в верхній частині становить 1,6.

При прийнятих допущеннях можна виразити висоту дифузора (h_d), довжину решітки (l_p) та ширину (b) у верхній частині дифузора через об'єм:



$$l_p = 0.55 \text{ м}$$

$$h_g = 2.5I\sqrt{V_y}$$

$$b = 1.45\sqrt{V_y}$$

$$hg = 2.5I\sqrt{0.04} = 0.5 \text{ м}$$

$$b = 1.45\sqrt{0.04} = 0.29 \text{ м}$$

Рис.4.1. Конфігурація газового струменя в вихровому апараті.

Для визначення густини та діаметра частинки враховуються властивості продукту, який утворює плівку на її поверхні:

$$d_e = d_{in} \sqrt[3]{1 + V_{пр} / V_{in}} = 4,0 \cdot \sqrt[3]{1 + 0,64} = 4,72 \cdot 10^{-3} \text{ м}, \quad (4.22)$$

$$\partial e _ d_{in} = 4,0 \text{ мм}$$

$$\rho_{\tau} = \frac{\rho_m \cdot (V_{пр} / V_{in}) + \rho_1}{1 + (V_{пр} / V_{in})} = \frac{1010 \cdot 0,64 + 2215}{1 + 0,64} = 1755 \text{ кг/м}^3 \quad (4.23)$$

Швидкість витання ($V_{внт}$) визначається з урахуванням гідравлічного опору частинки (ξ) за відповідним співвідношенням:

$$v_{внт} = \sqrt{4 \cdot (\rho_m - \rho_e) \cdot g \cdot d_e / 3 \rho_m \cdot \xi}$$

$$v_{внт} = \sqrt{4 \cdot (1755 - 0,827) \cdot 9,8 \cdot 4,72 \cdot 10^{-3} / (3 \cdot 0,827 \cdot 0,8)} = 14,8 \text{ кг/с} \quad (4.24)$$

Швидкість теплоносія в сегменті газорозподільчої решітки визначається за умовою підняття частинок, які увійшли в тепловий потік, до верхнього рівня дифузора

Для визначення середньої висоти підняття частинки в апараті необхідно розрахувати взаємодію частинки з потоком теплоносія, який формується газорозподільчою решіткою на вході в апарат. Після проходження газорозподільчої решітки струмінь змінює напрямок на 90 градусів, прокладаючи шлях навколо заокруглення, і в зоні змінного перерізу апарата розширюється під кутом розкриття β_c .

Рух частинки в потоці теплоносія характеризується двома етапами: етапом розгону і етапом гальмування. На етапі розгону швидкість газу перевищує швидкість витання частинки.

Висота підняття від рівня $h=h_0$ визначається за допомогою вказаної формули:

$$h = h_g - R * ctg\beta \quad (4.25)$$

Радіус закруглення R вхідної частини дифузора визначається з урахуванням умови уникнення сколювання продукту з поверхні частинок. При цьому враховується оптимальне співвідношення між радіусом заокруглення R та шириною еквівалентної щілини $d_{щ}$.

$$R / d_{щ} = 2,5 \quad (4.26)$$

$$h = h_g - R * ctg\beta = 0.5 - 0.03ctg30 = 0.45m$$

На основі потрібної висоти підняття частинок (h) визначається швидкість повітря в перерізі решітки, яка забезпечить піднімання частинок на визначену висоту.

$$v_{r0} = v_{sit} + v_{vit} * I_p * h * tg * \beta_c / L_v \quad (4.27)$$

$$L_v = \frac{L}{\rho_{ex}} = \frac{1,2}{0,827} = 1,45m^3 / c \quad (4.28)$$

Кут $\beta_c = 9^\circ$ градусів - це умова розширення турбулентного струменя на початковій ділянці.

$$v_{r0} = 14.8 + \frac{14.8 * 0.55 * 0.45}{1.45} = 17.3 \text{ м/с}$$

Враховуючи вхідну швидкість теплоносія, визначаємо площу S_p газорозподільчої решітки:

$$S_p = \frac{L_v}{\rho_{ex} * v_{r0}} = \frac{1.2}{0.827 * 17.3} = 0.084 \text{ м}^2 \quad (4.29)$$

Діаметр отвору $d_{отв}$ та кількість n розташованих в одному ряду отворів газорозподільчої решітки визначаються з умови:

$$\begin{cases} \frac{\pi * d_{отв}^2 * n_p}{4} = S_p \\ d_{отв} * n_p + l * (n_p - 1) = l_p \end{cases} \begin{cases} \frac{3.14}{4} * d_{отв}^2 * n_p = 0.112 \\ d_{отв} * n_p + 0.002 * (n_p - 1) = 0.55 \end{cases} \quad (4.30)$$

при $l = 0.002 \text{ м}$.

Шляхом розв'язання системи рівнянь:

$$n_p = 91; d_{отв} = 0.004 \text{ мм}$$

Ширина еквівалентної щілини при вході в дифузор, враховуючи площу:

$$h_p = \frac{S_p}{l_p} = \frac{0.084}{0.55} = 0.15 \text{ м} \quad (4.31)$$

Маса інертного матеріалу:

$$m_i = \rho_i * (V_i / V_y) * V_y = 2215 * 7 * 10^{-2} * 0.0664 = 10.3 \text{ кг} \quad (4.32)$$

Об'єм однієї частинки інертного матеріалу:

$$m_{ч} = V * \rho = 0.004^3 * 2215 = 0.000142 \text{ кг} \quad (4.33)$$

Кількість частинок інертного матеріалу:

$$z = \frac{m_i}{m_{ч}} = \frac{10.3}{0.000142} = 72535 \text{ шт.} \quad (4.34)$$

Бічна поверхня частинок інертна (поверхня сушіння) становить:

$$S_i = z * 6 * a^2 = 72535 * 6 * 0.004^2 = 6.963 \text{ м}^2 \approx 7.0 \text{ м}^2 \quad (4.35)$$

де $a = 0.004 \text{ м}$ – розмір сторони інертної частинки.

Опір шару інертного матеріалу при пористості 0,8 розраховуємо відповідно до наступної формули:

$$\Delta p_{\text{ш}} = 1,095g \sqrt{\frac{p_i(1-\varepsilon)m_i}{l_p t g \beta}} = 1,095 \cdot 9,8 \sqrt{2215 \cdot (1 - 0,8) \cdot \frac{10}{0,55 \cdot 0,577}} = 1267,9 \text{ Н/м}^2 \quad (4.36)$$

З графічної залежності визначаємо значення коефіцієнтів опору для відводів різної конфігурації:

$\xi_d = 1,2$, а з графічної залежності визначаємо значення коефіцієнта гідравлічного опору газорозподільчої решітки ξ_p залежно від співвідношення довжини сопла до діаметру отвору $l_c/d_{\text{отв}}$ визначаємо $\xi_p = 1,35$.

Розраховуємо опір вхідного участка дифузора за вказаною формулою:

$$\Delta p_{\text{вх}} = (\xi_d + \xi_p) \frac{\rho \cdot v_{f0}^2}{2} = (1,2 + 1,35) \frac{0,827 \cdot 17,3^2}{2} = 315,6 \text{ Н/м}^2 \quad (4.37)$$

Опір апарата становитиме:

$$\Delta p = \Delta p_{\text{ш}} + \Delta p_{\text{вх}} = 1267,9 + 315,6 = 1582,6 \text{ Н/м}^2 \quad (4.38)$$

Підбір калорифера

Витрата тепла на нагрівання повітря

$$Q = L_1 \times C_n \times (t_k - t_0), \text{ де } C_n = 1 \times 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \times \text{К}} - \text{температура повітря}; \quad (4.39)$$

$t_0 = 20^\circ \text{C}$ - температура повітря перед входом в калорифер, $^\circ\text{C}$; $t_a = 120^\circ \text{N}$ - температура повітря у калорифері

$$Q = 0,9 \times \dots \times 3600 \times 1,0 \times 10^3 (120 - 20) = 388800 \text{ К}$$

Необхідний поперечний розріз калорифера для повітря визначається при встановленій швидкості повітря

$$v_p = 5 \text{ кг} / (\text{кг} \cdot \text{с})$$

$$f = \frac{L_1}{3600 \times 5} = \frac{4320}{3600 \times 5} = 0,24 \text{ м}^2 \quad (4.40)$$

Обираємо для установки калорифер моделі КП46-СК-01УЗА із площею нагріву $F=17.42 \text{ м}^2$ і поперечним розрізом по поверхні $f=0.435 \text{ м}^2$.

Фактична швидкість повітря визначається за його ваговою величиною

$$v_p = \frac{L_1}{3600 \times f} = \frac{4320}{3600 * 0.435} = 2.76 \text{ кг} / (\text{кг}^2 \times \text{с}) \quad (4.41)$$

Коефіцієнт передачі тепла калорифера

$$K = 23.86 * (v_p)^{0.474} = 23.86 * (4.05)^{0.474} = 52.8 \text{ Вт} / (\text{м}^2 * \text{К}) = 190.1 \frac{\text{кДж}}{\text{год} * \text{м}^2 * \text{К}} \quad (4.42)$$

Середня температура повітря в калорифера

$$t_{cp} = \frac{t_k + t_0}{2} = \frac{120 + 20}{2} = 70^\circ \text{C} \quad (4.43)$$

Необхідна поверхня нагрівання калориферної установки

$$F_k = \frac{Q}{K * (t - t_{cp})} = \frac{388800}{190.1 * (151.1 - 70)} = 25.22 \text{ м}^2 \quad (4.44)$$

де $t=151.1$ температура при тиску $P=0,5 \text{ МПа}$

Потрібна кількість калориферів

$$n_k = \frac{F_k}{F} = \frac{25.22}{17.42} = 1.45 \quad (4.45)$$

Встановлюємо два калорифери для системи і налаштовуємо напрямок руху повітря.

Обща площа нагріву калориферної системи

$$F_k = 17.42 * 2 = 34.84 \text{ м}^2$$

Графічна пара витрачається

$$L_{\text{пар}} = \frac{Q}{r} = \frac{388800}{2107,56} = 184,48 \text{ кг} / \text{год} = 0,051 \text{ кг} / \text{с}, \quad (4.46)$$

де $r=2107,56$ кДж/кг- теплота пароутворення

Опір, який виникає при прокладанні повітря крізь калориферну систему

$$\Delta P'_k = 8.435 * (v_p)^{1.705} = 8.435 * (4.05)^{1.705} = 109.7 \text{ Па} - \text{одного калорифера} \quad (4.47)$$

$$\Delta P_k = 2 * \Delta P'_k = 109,7 * 2 = 219,4 \text{ Па}$$

Розрахунок циклонної установки

Кількість повітря, що проходить через циклон

$$V_y = \frac{L_2}{\rho_2} = \frac{5184}{1,06} = 4891 \text{ м}^3 / \text{год} = 1,36 \text{ м}^3 / \text{с}, \quad (4.48)$$

де $\rho_2 = 1,06 \text{ кг} / \text{м}^3$ - густина повітря при $t=64^\circ\text{C}$

Обчислення параметрів циклонів.

1. Обираємо для проведення розрахунків два циклони, а саме циклони типу НД і $O_{\text{газ}}$.

При швидкості повітря у вихідному трубопроводі $v=24$ м/с, визначаємо площу перерізу одного циклону

$$f = \frac{b * h}{2} = \frac{V}{2 * v} = \frac{4320}{2 * 3600 * 24} = 0.025 \text{ м}^2 \quad (4.49)$$

2. Розмір ширини вхідного трубопроводу

$$e = 0,565 * \sqrt{\frac{V}{v}} = 0.565 * \sqrt{f} = 0.565 * \sqrt{0.025} = 0.09 \text{ м} \quad (4.50)$$

3. Розмір висоти вхідного трубопроводу

$$h = 3.14 * e = 3,14 * 0,09 = 0,28 \text{ м} \quad (4.51)$$

Діаметр циклона(поперечний)

$$D = 4,75 * \epsilon = 4,75 * 0,09 = 0,45\text{ м} \quad (4.52)$$

4. Приймаючи кільцеву швидкість $v=18$ м/с, розраховуємо коефіцієнт розділення:

$$\Phi_p = \frac{2 * v_1^2}{g * D} = \frac{2 * 18^2}{9,81 * 0,45} = 146,78 \quad (4.53)$$

5. Розраховуємо швидкість осадження частинок пилу:

$$v_o = \frac{g * d_4^2 * (\rho_1 - \rho_2)}{18 * \mu} = \frac{9,8 * (5 * 10^{-6})^2 * 146,78 * (870 - 1,060)}{1,8 * 18,24 * 10^{-6}} = 0,095\text{ м/с} \quad (4.54)$$

Проводимо перевірку коректності використаної формули

$$Re = \frac{v * d}{\nu} = \frac{0,09 * 5 * 10^{-6}}{19,6 * 10^{-6}} = 0,049 \leq 2 - \text{формула є допустимима} \quad (4.55)$$

7. Визначення внутрішнього діаметра витяжної труби при заданій швидкості:
 $v=7$ м/с

$$d_m = 1,13 * \sqrt{\frac{V}{v_m}} = 1,13 * \sqrt{\frac{2160}{3600 * 7}} = 0,33\text{ м} \quad (4.56)$$

8. Встановлюємо значення зовнішнього діаметра витяжної труби

$$D_1 = 0,35 + 2 * \delta = 0,35 + 2 * 0,0015 = 0,353\text{ м} \quad (4.57)$$

9. Визначаємо висоту циліндричної частина циклону

$$H_1 = 7,6 * b = 7,6 * 0,09 = 0,68\text{ м} \quad (4.58)$$

10. Висота конусної частини

$$H_2 = 9,5 * b = 9,5 * 0,09 = 0,86\text{ м} \quad (4.59)$$

11. Гідрравлічний опір, який виникає в циклоні

$$\Delta p = \xi * \rho_2 * \frac{v^2}{2 * g} = 7 * 1.025 * \frac{24^2}{2 * 9.81} = 211 \text{Па} \quad (4.60)$$

Підбір вентиляторів

Враховуючи вище наведені розрахункові дані, обираємо вентилятори типу С-14-46№4 та СН-4-70№4.

4.2. Підбір конструкційних матеріалів

Нержавіюча сталь є високофункціональним і водночас естетичним матеріалом. Завдяки різноманітним маркам і типам поверхонь вона може відповідати різним вимогам, враховуючи конкретні потреби, які ставляться перед цим матеріалом.

Стійкість до корозії проявляється завдяки утворенню на металевій поверхні оксидного шару хрому. Цей шар надійно захищає поверхню від негативного впливу механічних і хімічних чинників, забезпечуючи при цьому стабільні антикорозійні властивості металу.

Нержавіюча сталь, подібно до скла та окремих синтетичних матеріалів, відповідає високим стандартам гігієни, естетики та токсикології. Це робить її практично необхідною для створення обладнання при виробництві, зберіганні і транспортуванні харчових продуктів.

Для планованого обладнання вибираємо сталь марки 304/08X18Н9.

Характеристика сталі і (або) виробів з неї: сталь з низьким вмістом вуглецю, аустенітна, не закалюється, стійка до дії корозії, немагнітна в умовах слабого намагнічування (якщо була піддана холодній обробці). Легко піддається зварюванню, стійка до міжкристалічної корозії. Висока міцність при низьких температурах. Піддається поліровці.

Рекомендується використовувати цей матеріал для створення установок у харчовій, хімічній, текстильній, нафтяній, фармацевтичній, паперовій промисловості, а також у виробництві пластмас, для ядерної та холодильної галузей, машинобудуванні, кораблебудуванні, електроніці і багатьох інших галузях промисловості.

Сталі групи 300.

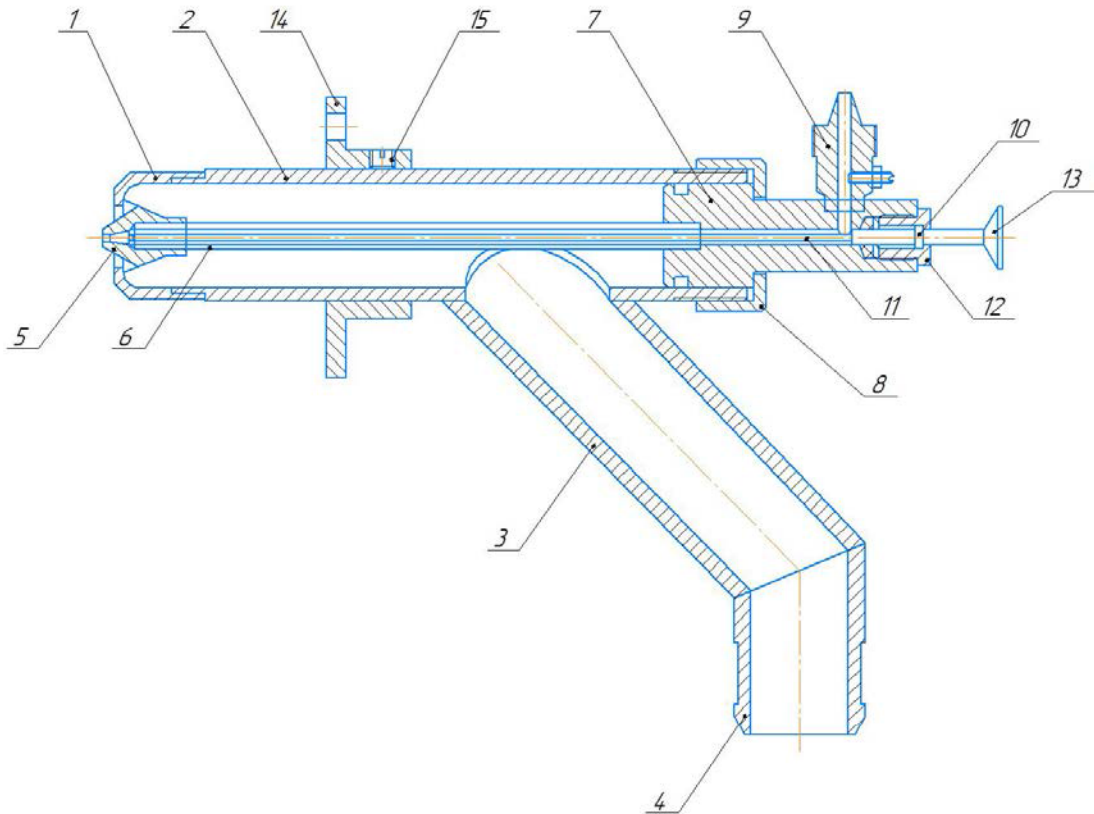
Нержавіючі сталі з хромонікелевими домішками розподіляються на три типи в залежності від їхньої внутрішньої мікроструктури: аустенітні, аустенітно-мартенситні та аустенітно-феритні. Особливості структури цих сталей визначаються вмістом вуглецю, хрому, нікелю та інших хімічних елементів.

Для боротьби з міжкристалічною корозією сталі групи 300 використовують титан як легуючий елемент.

Для зменшення вразливості сталей до міжкристалічної корозії вводять елементи, які сприяють утворенню сильних карбідів, таких як титан або ніобій, у кількості, що дорівнює п'ятикратному вмісту вуглецю.

А ще, сталі з групи 300 можуть виявляти магнітні властивості, особливо після механічної обробки і деформації. А також при повільному охолодженні після високотемпературного нагріву або витримці в межах температур від 400 до 900.

4.3. Технологія машинобудування



1. Визначаємо критичний переріз стержня.

2. Згідно із робочим кресленням стержня визначаємо необхідні геометричні параметри: діаметри валу d_1 і d_2 ($d_1 = 5$ мм, $d_2 = 3$ мм), а також радіус галтелі r_f ($r_f = 0,5$ мм). З отриманих значень для сталі 45 ($\sigma_{вр} = 700$ МПа, за довідником) та з технічної документації для вузла встановлюємо значення згинаючого та крутного моментів: $M_{зг} = 70$ Н·м, $M_{кр} = 50$ Н·м. Розподіл моментів підпорядковується нормальному закону.

3. Використовуючи таблиці 1-3, проводимо інтерполяцію для визначення ефективних коефіцієнтів напружень при згинанні та крученні вала для галтелі, при чому значення напруження $\sigma_{вр}$ становить 700 МПа.:

$$\frac{r_2}{d_2} = \frac{0,5}{3} = 0,17 \quad ; \quad (4.61)$$

$$\frac{d_1}{d_2} = \frac{5}{3} = 1,67 \quad ; \quad (4.62)$$

$$K_{\sigma} = 1,97; K_{\tau} = 1,08.$$

4. Для визначення масштабного фактора при згинанні та крученні вала використовуємо величину його меншого діаметра.

Для нашого прикладу $d_2 = 3$ мм коефіцієнти дорівнюють: $\varepsilon_\sigma = 0,93$; $\varepsilon_\tau = 0,83$.

5. Визначаємо середні значення амплітуд напружень при згинанні та крученні для нашого випадку за відповідними формулами:

$$\sigma_{зг} = \frac{M_{зг}}{W_{зг}} = \frac{32M_{зг}}{\pi d_2^3} = \frac{32 \cdot 70 \cdot 10^3}{\pi(3)^3} = 26,4 \text{ МПа}; \quad (4.63)$$

$$\tau_{кр} = \frac{M_{кр}}{W_{кр}} = \frac{M_{кр}}{0,2d_2^3} = \frac{50 \cdot 10^3}{0,2(3)^3} = 9,3 \text{ МПа}, \quad (4.64)$$

де $W_{зг}$, $W_{кр}$ - Момент опору в критичному перерізі вала при згинанні та крученні становить, мм³.

6. Коефіцієнти запасу міцності для згинання та кручення вала представлені відповідно:

$$n_\sigma = \frac{\frac{\sigma_{-1}}{K_\sigma \sigma_u}}{\varepsilon_\sigma} = \frac{\frac{280}{1,97}}{0,98} = 5,2; \quad (4.65)$$

$$n_\tau = \frac{\frac{2\tau_{-1}}{K_\tau \tau_{кр}}}{\varepsilon_\tau} = \frac{\frac{2 \cdot 140}{1,08}}{0,88} = 12,3; \quad (4.66)$$

де $\sigma_{-1} = 280$ МПа, $\tau_{-1} = 140$ МПа – Межі витривалості матеріалу вала (сталь 45) визначаються відповідно при згинанні та крученні згідно з даними довідника.

7. Загальний коефіцієнт запасу міцності розраховується згідно з відповідною формулою:

$$n = \frac{n_\sigma \cdot n_\tau}{\sqrt{n_\sigma^2 + n_\tau^2}} = \frac{5,2 \cdot 12,3}{\sqrt{5,2^2 + 12,3^2}} = 4,8 \quad (4.67)$$

8. Квадратний корінь з середнього квадрату відхилень амплітуд напружень

$$S_a = \frac{A \cdot \sigma_{\text{зг}}}{3} = \frac{0,71 \cdot 26,4}{3} = 6,25 \text{ МПа, де } A = \frac{M_{\text{кр}}}{M_{\text{зг}}} = \frac{50}{70} = 0,71 \quad (4.68)$$

9. Варіаційний коефіцієнт амплітуд

$$\nu_a = \frac{S_a}{\sigma_{\text{зг}}} = \frac{6,25}{26,4} = 0,24 \quad (4.69)$$

10. Припускаючи сумарний коефіцієнт варіації амплітуд $\nu_a = 0,3$, визначаємо ймовірність відмови (руйнування валу в критичному перетині) на основі отриманих розрахункових даних ($n = 4,8$; $\nu_a = 0,24$) за допомогою графіка. Ймовірність руйнування валу в критичному перерізі становить $F(t) = 0,0000008$.

11. З урахуванням відношення між ймовірностями безвідмовної роботи і відмов, ймовірність безвідмовної роботи вала дорівнює:

$$P(t) = 1 - F(t) = 100 - 0,0000008 = 99,9999992. \quad (4.70)$$

Одержаний показник свідчить, що стержень має високу експлуатаційну надійність.

4. Базові одиниці об'єднуються у вузли в процесі вузлового складання.

Наприклад:

- Вузол 1: С61, С62
- Вузол 2: С63, болт
- Вузол 3: С64, штуцер

5. Готові вузли проходять контроль.

6. На етапі загального складання вузли об'єднуються в готовий виріб.

7. Готовий виріб проходить контроль і випробування.

8. За результатами випробувань приймається рішення про можливість використання виробу за призначенням або про необхідність доробки чи утилізації.

Розроблення структурної схем сертифікації елементу обладнання.

Сертифікація може стосуватися як вузла, так і індивідуальної деталі.

З урахуванням індивідуального характеру виготовлення запропонованого обладнання та обраного вузла, визначаємо модель сертифікації для виробів, які виготовляються в єдиному екземплярі, із видачею сертифіката відповідності, термін дії якого обмежений одним роком.

Цією самою моделлю встановлюється обов'язковість проведення заходів з виробів, які:

- Огляд виробництва – має місце;
- Атестація виробництва – відсутня;
- Сертифікація системи якості виробництва – також не здійснюється;
- Випробування для сертифікації – здійснюються для кожного окремого виробу;
- Технічний нагляд за процесом виробництва – не передбачений.

Згідно із стандартом ДСТУ 3413-96, передбачено систему сертифікації відповідно до УкрСЕПРО.

Процедура проведення сертифікації продукції включає в себе наступні етапи в загальному випадку.:

- Подача та розгляд заявки на сертифікацію продукції;
- Оцінка представленої документації;
- Прийняття рішення стосовно заявки з вказівкою схеми (моделі) сертифікації;
- Огляд виробництва;
- Сертифікація виробництва продукції, що підлягає сертифікації, або сертифікація системи якості за визначеною схемою;
- Збір, ідентифікація та випробування зразків продукції;
- Аналіз отриманих результатів та ухвалення рішення щодо можливості видачі сертифіката відповідності;
- Видача сертифіката відповідності, укладання ліцензійної угоди та включення сертифікованої продукції до Реєстру Системи;
- Визнання сертифіката відповідності, вида-ного закордонним органом;
- Технічний контроль за сертифікованою продукцією;
- Повідомлення про результати сертифікаційних заходів.

Заява про проведення сертифікації є стандартною та подається відповідно до наступної форми.

ДОДАТОК В
(обов'язковий)

Форма рішення за заявкою на проведення сертифікації продукції
(в разі відсутності акредитованого органу з сертифікації)

ДЕРЖСТАНДАРТ УКРАЇНИ

РІШЕННЯ

№ _____ від « ____ » _____ 200__ р.
за заявкою(ами) на проведення сертифікації продукції в Системі УкрСЕПРО

_____ (назва управління Держстандарту України)
розглянувши заявку(и) _____ (назва підприємства-виробника/постачальника продукції)
_____ на сертифікацію у Системі УкрСЕПРО _____
(далі — Заявник, адреса, код ЄДРПОУ)
_____ (назва продукції)

ВИРШИЛО:

1 Дозволити _____ (назва організації, якій доручається проведення)
_____ робіт — далі призначеної організації)

провести сертифікацію _____
яка випускається серійно (одноразово та ін.) _____ (назва виробника та постачальника)

2 Відбір зразків та ідентифікацію продукції покласти на _____ (назва призначеної організації)

3 Сертифікацію провести на відповідність вимогам _____ (позначення та
_____ назви нормативних документів)

4 Схема (модель) сертифікації міститиме (непотрібне викреслити):

- обстеження виробництва;
- атестацію виробництва продукції, що сертифікується;
- сертифікацію системи якості продукції, що сертифікується;
- випробування продукції з метою сертифікації;
- технічний нагляд.

5 Випробування продукції з метою сертифікації провести в _____ (назва випробувальної
_____ лабораторії (центру), акредитованої в системі, та її адреса)
_____ , акредитованої(му) на

технічну компетентність або на технічну компетентність і незалежність атестат акредитації

6 Як виняток, надати право підпису сертифіката відповідності на продукцію
_____ (прізвище керівника призначеної організації)

ДОДАТОК Б
(рекомендований)Форма заявки на проведення сертифікації продукції
Назва органу з сертифікації продукції, адреса*ЗАЯВКА
на проведення сертифікації продукції в Системі УкрСЕПРО1 _____
(назва підприємства-виробника, постачальника (далі — заявник), адреса, код ЄДРПОУ)в особі _____
(прізвище, ім'я, по батькові керівника та його посада)заявляє, що _____
(назва продукції, код ОКП)виготовлена у вигляді виробу одноразового виготовлення, виготовлена у вигляді партії в кількості _____, випускається серійно** за
(шт., т, м², м³ та ін.),_____ (назва та позначення нормативного документа виробника)
відповідає вимогам _____
(позначення та назви нормативних документів)

і просить провести сертифікацію цієї продукції на відповідність вимогам зазначених нормативних документів за правилами Системи УкрСЕПРО.

2 Випробування з метою сертифікації прошу провести в _____
(назва акредитованої в Системі

УкрСЕПРО випробувальної лабораторії та її адреса. У разі відсутності відомостей, цей пункт не наводиться)

3 Заявник зобов'язується:

- виконувати усі умови сертифікації;
- забезпечувати стабільність показників (характеристик) продукції, що підтверджені сертифікатом відповідності;
- сплатити всі витрати за проведення сертифікації.

4 Додаткові відомості _____

Керівник підприємства _____
(підпис, ініціали та прізвище)Головний бухгалтер _____
(підпис, ініціали та прізвище)

М.П. _____ Дата _____

* У разі відсутності органу з сертифікації продукції заявка подається до Держстандарту України.

** Вноситься потрібно.

(Змінена редакція, Зміна № 2)

Основні показники, які слід перевірити під час випробувань виробу, включають механічні та геометричні параметри, такі як відповідність розмірам, відхиленням від норм, та забезпечення стійкості під навантаженням при розрахунковому крутному моменті і т.д.

Для моніторингу вибраних характеристик виробу використовуються наступні прилади: твердоміри HRA-1, цифровий штангенциркуль VERNIER 150, профілометр як засіб для контролю шорсткості поверхні, а також еталонні шкали для оцінки шорсткості та інші відповідні прилади.

4.4.Правила монтажу та технічного сервісу удосконаленої сушильної установки

Монтаж обладнання представляє собою комплексні роботи, що включають у себе збірку обладнання, його встановлення на відповідному місці, з'єднання в технологічні лінії та системи, проведення випробувань в режимі холостого ходу та під навантаженням, а також виконання додаткових, підготовчих та підгонючих операцій, які за різних причин не були завершені під час виготовлення обладнання. В залежності від складності об'єктів, умов та будівельного майданчика, а також наявності матеріально-технічних та людських ресурсів, будівельно-монтажні роботи виконуються за відкритим, закритим чи комбінованим методом.

Установка для висушування меланжу вимагає проведення монтажних робіт

Перед розпочатком монтажних робіт проводиться розрахунок та встановлення фундаменту для установки. Майданчик, де відбувається монтаж, повинен відповідати вимогам безпеки для працівників. Збірка обладнання виконується відповідно до технології заводу-виробника та під контролем представника технічного відділу контролю з заводу-виробника.

Починаючи зі збирання деталей у вузли та зварювання необхідних елементів, проводиться контроль зварних швів. Далі формується основна

конструкція, до якої поступово додаються складальні частини. Після цих етапів виконується монтаж допоміжного обладнання, та проводиться перевірка герметичності з'єднань.

Велике значення для надійної роботи має випробування сушарок, що поступають на монтаж у розібраному вигляді. Це включає перевірку щільності монтажних зварних швів, обкатку на холостому ході привода шнекового завантажувача, перевірку обладнання для подачі теплоносія та інші операції. Після випробувань виявлені дефекти усуваються, і тільки після цього сушильну установку передають для експлуатації.

Обслуговування технічного пристрою

Відділ головного механіка відповідає за моніторинг технічного стану обладнання, не лише забезпечуючи контроль за умовами експлуатації, але й розробляючи пропозиції та технічну документацію для можливого покращення обладнання, якщо це стає необхідним. Під час роботи слід наглядати за тим, щоб робочі органи установки були у належному стані. Покидати працюючу установку без нагляду не допускається, особливо якщо вона не обладнана засобами автоматизованого управління. Таким чином, ретельний догляд за обладнанням визначається як важливий елемент для збереження його ефективності, оскільки належний та своєчасний догляд може значно подовжити термін його служби.

Технічне обслуговування машини проводиться відповідно до системи планово-попереджувальних ремонтів (ППР). До складу планово-попереджувального ремонту машини входять наступні види технічного обслуговування:

- поточний ремонт (ТР);
- капітальний ремонт (К);
- обслуговування при експлуатації;
- регулярне технічне обслуговування (ТО).

Частота проведення технічного обслуговування та ремонтних робіт:

- I. Текучий ремонт проводиться один раз у три місяці.
- II. Капітальний ремонт здійснюється один раз на чотири роки.
- III. Регулярне технічне обслуговування при експлуатації проводиться щомісячно.
- IV. Періодичне технічне обслуговування виконується один раз на місяць.

Обслуговування установки

Проведення ремонту настає після проведення огляду та виявлення несправностей. У випадку необхідності виконуються зварні роботи для відновлення працездатності установки. Крім того, передбачено проведення очищення газорозподільчого пристрою. Текучий ремонт є найменш обширним видом ремонтних робіт, спрямованим на забезпечення нормальної та безперебійної роботи машини до наступного запланованого технічного обслуговування чи капітального ремонту.

Поточний ремонт здійснюється відповідно до попередньо схваленого графіка, проводиться на місці експлуатації машини за участю фахівців підрозділу, що відповідає за ремонт технічного обладнання на підприємстві-користувачі. Під час поточного ремонту виконуються наступні види робіт:

- ❖ Корекція ущільнень, які втратили ефективність, рукавів, трубок, елементів електроприводів;
- ❖ Заміна (або поповнення) мастила у підшипникових вузлах;
- ❖ Всі роботи, які виконуються під час періодичного технічного обслуговування;
- ❖ Зібрання та відновлення окремих складових одиниць та деталей механізмів із заміною витратних компонентів.

Для гарантування безпеки працівників, які проводять ремонт обладнання, всі роботи з ремонту повинні здійснюватися тільки при повній зупинці установки та при виключенні можливості її ввімкнення в робочий режим.

Функціонування пристрою

Для ефективної експлуатації системи необхідно:

- Здійснення коректного управління установкою, включаючи процеси запуску, експлуатації та зупинки;
- Регулярне проведення заходів, визначених системою технічного обслуговування та ремонту;
- Осведомленість та дотримання правил експлуатації кожним працівником;
- Забезпечення необхідних зовнішніх умов для ефективної роботи системи (відповідність умовам приміщення, контроль температурного режиму);
- Строге дотримання дозволених режимів роботи, включаючи швидкісні та теплові параметри.

5. ПРИНЦИПИ АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ ОБ'ЄКТОМ

Одним із основних напрямків автоматизації є створення комп'ютерно-інтегрованих виробництв. На сучасному етапі ключовим елементом автоматизації стали функціональні можливості мікропроцесорних систем управління. Важливу роль у цьому відіграють системи інтеграції розподіленого управління програмними комплексами. Автоматизація дозволяє централізувати, контролювати та керувати машинами, агрегатами, а в окремих випадках навіть всіма заводами, що значно спрощує управління технологічним процесом. Крім того, впровадження автоматизації сприяє зменшенню аварійності і, як наслідок, покращенню ефективності роботи обладнання.

Експлуатація сушильної установки із вихровим шаром інертного матеріалу як об'єкта управління включає декілька особливостей. Одна з них полягає в постійній необхідності утримання заданої температури всередині сушарки. Також потрібно налагоджувати температуру теплоносія на виході з циклону та регулювати кількість матеріалу, яка надходить для сушіння.

На основі зазначених умов була розроблена наступна схема автоматизації процесу сушіння меланжу.

Опис схеми автоматизації

Функціональна схема автоматизації сушильної установки для процесу сушіння меланжу передбачає автоматичне керування балансом матеріалів, тепловим режимом та іншими параметрами.

Контроль за витратами вологого матеріалу з витратного бака 1 відбувається через контур, який працює у імпульсному режимі з урахуванням витрат меланжу, що вимірюються перетворювачем 1а. Після цього сигнал передається на вторинний пристрій ПК1.1.

Режим температурного регулювання роботи калорифера здійснюється за

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ	<i>Технічне узгодження</i> Якимчук Р. Л.	<i>Вид документа</i> Пояснювальна записка		<i>Статус документа</i>		
<i>Власник документа</i> НУХТ	<i>Розробник документа</i> Кодтун Р.В.	<i>Назва, додаткова назва</i> ПРИНЦИПИ АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ ОБ'ЄКТОМ	221872.КР.12.005 ПЗ			
	<i>Документ затверджено</i> Якимчук В.М.		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> UA	<i>Аркуш</i> 1/4

допомогою термоперетворювача опору 2а та логометра 2д, які включені в систему разом із перемикачем 2ж.

Контроль за температурою після циклона реалізується за допомогою контролера перепаду температури, який взаємодіє з перетворювачем різниці температур. Подальший сигнал передається на вторинний прилад, який виводить сигнал на регулятор та мембранний сигналізатор. Останній пов'язаний з ручним перемикачем електромагнітних ланцюгів, кнопковою станцією та магнітним пускачем, який взаємодіє з кнопкою б.

На завершення всіх ланцюгів встановлюються світлові індикатори.

Заказна специфікація

№	Позиція	Найменування і технічна характеристика	Тип марка	К-сть	Потреби за проектом
1	1а,2а	Перетворювач витрат	ПИТ	2	2
2	1в,2в	Вторинний прилад	ПК1.1	2	2
3	1д,2д	Регулятор	ПР1.5	2	2
4	3а,4а	Термометр опору	ТСМ	2	10
5	3д,4д	Перемикач	ПТИ-М	2	2
6	3ж,4ж	Логометр	Л-64П	2	2
7	5б,6б, 7б,8б	Регулятор	ПР1.5	4	4
8	9а,10а	Перетворювач витрат	ПИТ	2	2
9	9в,10в	Вторинний прилад	ПК1.1	2	2
10	9д,10д	Регулятор	ПР1.5	2	2
11	11б,12б	Регулятор	ПР1.5	2	2
12	13а,14а	Термометр опору	ТСМ	2	10
13	13д,14д	Перемикач	ПТИ-М	2	2
14	13ж,14ж	Логометр	Л-64П	2	2
15	НЛ	Сигнальна лампа		14	14
16	НА	Сигналізація		2	2

Розглянемо детальніше основні елементи запропонованої схеми автоматизації.

Регулювання витрати вологого матеріалу здійснюється за допомогою контуру з перетворювачем витрат 1а, який вимірює витрату меланжу та передає сигнал на вторинний прилад ПК1.1. Цей прилад порівнює фактичне значення витрати з заданим і формує керуючий сигнал для регулювання продуктивності живильника вологого матеріалу. Таким чином підтримується необхідна витрата меланжу на вході в сушарку.

Для контролю температурного режиму калорифера використовується термоперетворювач опору 2а, який безперервно вимірює температуру теплоносія після калорифера. Цей сигнал надходить на логометр 2д, який порівнює значення з заданим діапазоном температур. У разі виходу значення за межі допустимого, логометр подає сигнал на регулятор 2в, який змінює положення регулюючого органу на калорифері для повернення температури в задані межі. Також передбачено перемикач 2ж для вибору автоматичного або ручного режимів управління калорифером.

Дуже важливим параметром є температура инертного матеріалу (піску) після циклону. Її регулювання здійснюється окремим контуром за допомогою перетворювача різниці температур, який вимірює різницю температур піску до і після циклону. Отримане значення передається на контролер перепаду температур, де порівнюється із заданим значенням перепаду. За результатами порівняння формується сигнал, який через вторинний прилад надходить на регулятор витрати холодного повітря. Регулятор змінює ступінь відкриття прямої заслінки холодного повітря, збільшуючи або зменшуючи його витрату таким чином, щоб підтримувати заданий перепад температур піску. Крім зазначених вище основних контурів регулювання, схемою автоматизації передбачені додаткові контури контролю та сигналізації для забезпечення надійної та безпечної роботи установки.

Зокрема, температура меланжу контролюється термометрами опору За і 4а на вході і виході з барабанної сушарки. Їх показання через перемикачі Зд і 4д надходять на логометри 3ж і 4ж, де порівнюються із заданими межами. У разі виходу температури за допустимі значення логометри подають сигнал на систему аварійної сигналізації.

Аналогічним чином контролюється температура відпрацьованого повітря за допомогою датчиків 13а і 14а та відповідних логометрів і сигналізаторів.

Також регулюються витрати гарячого (за допомогою регулятора 5б) та холодного (11б) повітря, а також палива (7б) і повітря (8б) на пальнику. Це дозволяє підтримувати оптимальний тепловий режим роботи сушарки.

Задля зручності оператора та можливості оперативного втручання передбачені кнопкові станції ручного керування виконавчими механізмами, а також сигнальні лампи для індикації роботи окремих вузлів і аварійних ситуацій.

Отже, запропонована схема автоматизації дозволяє комплексно контролювати основні параметри роботи сушильної установки, оперативно реагувати на їх відхилення, підтримувати заданий технологічний режим, а також своєчасно сигналізувати про перебої чи аварійні ситуації. Гнучкі можливості налаштування системи дають змогу адаптувати її під різні режими сушіння, забезпечуючи високу надійність та ефективність процесу.

6. ЗАХОДИ З ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА ОХОРОНИ ДОВКІЛЛЯ

Законодавча база у сфері охорони праці в Україні включає ряд нормативних актів, серед яких ключовими є Закон України "Про охорону праці" та Кодекс законів про працю (КЗпП). Крім того, до цієї бази входять також інші закони, такі як "Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування від нещасного випадку на виробництві та професійного захворювання, які спричинили втрату працездатності", "Про охорону здоров'я", "Про пожежну безпеку", "Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення", "Про загальнообов'язкове соціальне страхування у зв'язку з тимчасовою втратою працездатності та витратами, зумовленими народженням та похованням". Правові норми цих законів доповнюються різними міжгалузевими та галузевими документами, такими як стандарти, інструкції, правила, норми, положення, статuti та інші, які встановлюють обов'язкові вимоги для всіх установ та працівників України.

На підприємстві була розроблена та ефективно функціонує система управління охороною праці, що охоплює такі розділи та положення:

- Положення, що регламентує систему управління охороною праці;
- Документ, який визначає функції та завдання служби охорони праці;
- Положення про комісію, відповідальну за здійснення контролю над станом охорони праці;
- Процедура здійснення контролю за станом охорони праці;
- Положення, що визначає порядок розробки інструкцій з охорони праці;
- Документ, який регламентує процедури навчання, інструктажу та перевірки знань працівників з охорони праці;
- Процедура атестації робочих місць;
- Документ, що визначає порядок ведення робіт підвищеної небезпеки;
- Положення про безпечність в електроустановках споживачів;

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ	<i>Технічне узгодження</i> Якимчук Р. Л.	<i>Вид документа</i> Пояснювальна записка		<i>Статус документа</i>		
<i>Власник документа</i> НУХТ	<i>Розробник документа</i> Кодтун Р.В.	<i>Назва, додаткова назва</i> ЗАХОДИ З ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА ОХОРОНИ ДОВКІЛЛЯ	221872.КР.12.006 ПЗ			
	<i>Документ затверджено</i> Якимчук В.М.		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> UA	<i>Аркуш</i> 1/11

- Документ, який регламентує нагляд за будівлями та спорудами;
- Процедура ведення газонебезпечних робіт;
- Документ, що визначає порядок робіт на вибухопожежонебезпечних об'єктах;
- Положення, яке регулює проведення медичних оглядів працівників;
- Організаційні заходи щодо пожежної безпеки та контроль за її станом;
- та інші відповідні документи.

Інструктажі

Кожен сектор виробництва повністю оснащений інструкціями з охорони праці, засобами індивідуального захисту, медичними аптечками, вогнегасниками та спецодягом.

Кожне робоче місце атестується один раз кожні 5 років.

Річний навчальний цикл для працівників, що виконують роботи підвищеної небезпеки, включає проходження навчання та оцінку їхніх знань з охорони праці.

Основні фахівці регулярно, один раз на три роки, проходять курси з охорони праці у навчальному комбінаті.

Усі працівники підприємства проходять вступний, первинний та періодичні інструктажі з охорони праці, пожежної безпеки та виробничої санітарії, підтверджуючи це своїми підписами в журналах інструктажів.

Інструктажі з охорони праці здійснюються на всіх підприємствах, установах і організаціях, незалежно від характеру трудової діяльності, підпорядкування і форми власності. Основною метою проведення інструктажу є навчання працівників безпечному та вірному виконанню їхніх трудових обов'язків з урахуванням особистої безпеки та безпеки навколишнього середовища.

Травматизм

Загальна кількість травм на підприємстві утворює виробничий травматизм, який може включати як нещасні випадки, пов'язані з

виробництвом, так і ті, що не мають виробничого зв'язку. Для аналізу виробничого травматизму використовуються три основні методи: статистичний, монографічний і економічний.

При виникненні нещасного випадку на підприємстві потерпілий або свідки повинні сповістити власника підприємства, який утворює комісію для проведення розслідування. У складі комісії включені інженер з охорони праці, начальник цеху, представник профспілок та технічний інспектор. Розслідування здійснюється протягом трьох днів, після чого складається акт за формою Н-1 в п'яти примірниках для кожного потерпілого.

Протягом останніх 5 років на підприємстві зафіксовано 12 нещасних випадків, серед яких 5 були пов'язані з виробництвом, а 7 - не пов'язані з виробництвом. Більшість з цих випадків сталися через порушення або ігнорування встановлених правил та норм охорони праці.

Токсичні та ризиковані фактори

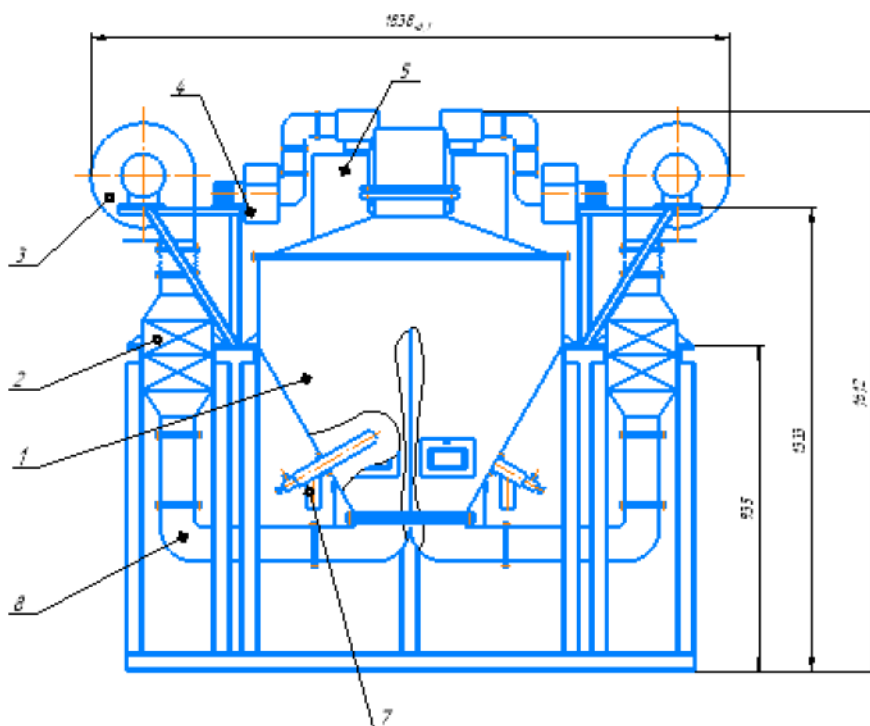


Рис.6.1 Схема сушильної установки

1 - корпус; 2 – калорифер; 3 – вентилятор; 4 – вентилятор витяжний;
5 – циклон; 6 – рама; 7 – форсунка; 8 - кожух.

Шкідливі фактори, що мають місце: Ш - шум, В - вібрація, Т - підвищена температура.

Шкідливі та небезпечні виробничі фактори, які існують на підприємствах, за характером впливу розподіляються на наступні групи:

- а)біологічні,
- б)психофізіологічні,
- в)фізичні,
- г)хімічні.

До першої групи відносяться різноманітні фактори, які можуть впливати на працівників на виробництві, включаючи машини та механізми у русі, виробничі матеріали, а також зміни в температурі та вологості, рух повітря, та освітленість робочого середовища. Серед цих факторів можна виділити підвищення або зниження температури, вологості, рівня шуму, вібрації, ультразвуку, інфразвукових коливань, статичної електрики, електромагнітних випромінювань, а також ультрафіолетової та інфрачервоної радіації.

Хімічні чинники, які є небезпечними та шкідливими, включають отруйні гази та пил різного складу. Група психофізичних факторів ділиться за характером на фізичні та нервово-психічні перевантаження. Фізичні перевантаження можуть бути статичними, динамічними, або гіподинамією, тоді як нервово-психічні перевантаження включають розумову напругу, перенапруження аналізаторів, монотонність праці, та емоційні перевантаження.

Ці фактори особливо стосуються працівників інженерно-технічних спеціальностей, майстрів, бригадирів, операторів, диспетчерів, та машиністів транспортних засобів. Група біологічних факторів включає мікроорганізми, які можуть зустрічатися у сховищах зворотного водопостачання та біологічних очисних спорудах, зображених на схемі технологічної лінії виготовлення масла методом перетворення високожирних вершків.

Умови мікроклімату в робочих приміщеннях

На цьому участку може виникати збільшення вологості повітря через теплове обладнання, де відбуваються теплообмінні процеси. Це, в свою чергу, може призвести до утворення конденсату на поверхні обладнання.

Нормування виробничого мікроклімату відповідає вимогам ДСН 3.3.6.042-99 "Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень".

Таблиця 6.1

Параметри виробничого мікроклімату

	Температура повітря, °С	Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря, м/с
Допустимий показник	22-24	40-60	0,1
Реальний показник	23	52	0,1

Аналізуючи виміряні значення параметрів мікроклімату в порівнянні з допустимими, можна встановити, що вказані показники знаходяться в нормативних межах. Це не призводить до погіршення самопочуття та передчасної втоми працівників, а також не впливає на зниження їх працездатності.

Забезпечення повітряними масами приміщень

Для забезпечення виробничих приміщень оптимальними метеорологічними умовами та чистотою повітря, які відповідають санітарно-гігієнічним стандартам, застосовується система вентиляції. Регулювання вентиляції проводиться відповідно до вимог ДБН Д.2.2-20-99 "Отопление, вентиляция и кондиционирование". Головною метою вентиляційних систем є виведення з приміщення забрудненого, вологого або перегрітого повітря та подача на його місце свіжого повітря, що відповідає санітарно-гігієнічним вимогам.

Щодо методів пересування повітря, системи вентиляції поділяються на природні, штучні (механічні) та комбіновані (використання як природної, так і штучної вентиляції одночасно).

Згідно зі своїм призначенням, вентиляційні системи поділяються на припливні, витяжні та комбіновані (припливно-витяжні), залежно від того, чи призначені вони для постачання повітря, вилучення його чи обох функцій одночасно.

В залежності від обсягу застосування, вентиляція поділяється на загальнообмінну, що забезпечує обмін повітрям у всьому приміщенні, та місцеву, яка орієнтована на конкретні зони чи області.

У цеху сушіння меланжу діє комбінована система вентиляції, яка включає в себе загальнообмінну та місцеву вентиляцію. Крім того, передбачена аварійна вентиляція, яка реалізована у вигляді витяжної системи.

Системи вентиляції повинні відповідати вимогам пожежної та вибухобезпеки, бути легкими в установці, уникати переохолодження приміщень, утримувати рівень шуму на прийнятному рівні, забезпечувати надійну та економічну експлуатацію. Для кожної вентиляційної установки обов'язково ведеться паспорт та журнал експлуатації.

Після проведення розрахунків визначено, що необхідний обсяг повітря для цього приміщення складає 240 м³/год, що відповідає встановленим нормам.

Шум на робочих місцях регулюється згідно із стандартом ДСН 3.6.037-99 "Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку". Цей стандарт визначає допустимі рівні шуму на робочих місцях і встановлює класифікацію шуму, а також встановлює вимоги до характеристик шуму та заходів для захисту працівників від його шкідливого впливу.

На робочому місці вважається, що рівень шуму є допустимим, якщо вимірювані значення звукового тиску в усіх октавних смугах спектру або рівні звуку знаходяться нижче встановлених допустимих значень.

Таблиця 6.2

Рівні звуку (дБ)

Назва професії	Нормативне	Фактичне	Тривалість дії фактора, % за зміну
Наладчик	79,9	80,9	84,9

Причиною збільшеного рівня шуму на даному участку є обладнання для виробництва циліндричних масел. За допомогою наданої таблиці можна оцінити, чи не перевищують рівні звукового тиску нормативних значень. Зони, де рівень звуку перевищує 85 дБА, повинні бути відзначені як місця підвищеної небезпеки. Особи, які працюють в цих зонах, повинні використовувати індивідуальні захисні засоби, такі як навушники. Для зниження шуму на даній ділянці, застосовується звукопоглинаюче покриття стін.

Вібрація

Нормативне регулювання в галузі гігієнічного контролю за впливом вібрації передбачає встановлення максимально допустимих значень віброшвидкості в одиницях метрів на секунду, як визначено у Державних санітарних нормах 3.3.6.039-99 "Виробнича загальна та локальна вібрація". Цей документ є ключовим у встановленні гігієнічних стандартів для впливу вібрації. Вплив вібрації на організм людини залежить від різних характеристик, таких як інтенсивність, спектральний склад, тривалість воздейнення та напрямок дії.

Технологічна та локальна вібрація під час роботи основного обладнання цеху виробництва масла залишаються в межах допустимих норм. У таблиці 3 наведено максимально припустимі значення для локальної вібрації.

Таблиця 6.3

Частоти, розраховані як середнє геометричне, Гц	Ліміти для нормованого показника, представлені у таблиці		
	Відносно віброприскорення, м/с ²	За значеннями віброшвидкості	
		м/с	дБ
9	1,5	2,7	114
15	1,5	1,3	108
31	2,6	1,3	108
62	5,3	1,3	108
124	10,6	1,3	108
249	21,2	1,3	108
501	42,2	1,3	108
999	85,1	1,3	108

Гігієнічні стандарти для вібрації, що впливає на людину під час роботи, встановлені на період тривалістю 480 хвилин (8 годин). У випадку перевищення допустимого рівня вібрації, загальний час її впливу протягом робочої зміни має бути скорочений.

Таблиця 6.4

Ліміти для загального часу впливу локальної вібрації визначаються в залежності від перевищення гранично допустимого рівня.

Перевищення встановленого максимально допустимого рівня впливу вібрації, дБ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ліміт часу, протягом якого може відбуватися вплив вібрації протягом однієї робочої зміни, хв	3 84	30 2	2 40	1 91	1 51	1 20	9 5	7 6	6 0	4 8	3 8	3 0

У даному випадку джерелом вібрації на даній ділянці є сушарка рідких продуктів з вихровими потоками інертного матеріалу. Рівень вібрації цієї сушарки залишається в межах допустимих норм. Однак для зменшення передачі локальних вібрацій використовують спеціальні віброізолюючі гумові прокладки, які встановлюються під опори сушарки.

Люмінація

В цеху сушіння меланжу використовується як природне, так і штучне освітлення. Рівень освітлення регулюється відповідно до вимог ДБН В.2.5-28-2006 "Природне і штучне освітлення".

Основною нормованою характеристикою природного освітлення є коефіцієнт природної освітленості (КПО). У цеху освітлення забезпечується через вікна розміром 4500x3600 мм протягом дня. У хмарні дні та в вечірні години використовуються лампи накаливання та люмінесцентні лампи, рівномірно розміщені під стелею приміщення.

Стіни та стеля викрашені у білий колір з метою оптимального відбиття світлового потоку та покращення рівня освітленості. Забезпечене освітлення відповідає всім санітарним нормам та встановленим правилам.

Штучне освітлення виконується за допомогою люмінесцентних ламп типу ЛДЦ, які відзначаються високою ефективністю в аспекті спектрального складу. Проте вони характеризуються визначеною частотою мерехтіння, яка ефективно приглушається шляхом їх використання в протифазі.

Безпека електропостачання

З огляду на те, що технічне обладнання працює від електромережі, існує потенційна небезпека ураження людини електричним струмом. Експлуатація обладнання та електричних установок на підприємстві та в цеху виробництва вершкового масла здійснюється відповідно до норм та правил, передбачених ПУЕ "Правила улаштування електроустановок". Зазначена діяльність віднесена до приміщень з особливо підвищеною небезпекою,

оскільки багато складових частин (електродвигуни, електрощити, панелі управління) працюють під напругою. Основні вимоги щодо експлуатації обладнання та електроустановок регламентовані у "Правилах техніки безпеки при експлуатації електротехнічних установок промислових підприємств".

В даному цеху електропостачання реалізується за допомогою електричного струму, який надходить з мережі із частотою 50 Гц та напругою 220 та 380 В.

Засоби по електробезпеці в цеху виробництва вершкового масла передбачають:

- заземлення оболонок електрообладнання та компонентів електроустановок, які можуть опинитись під напругою;
- застосування захисних засобів та пристроїв;
- використання блокування із сигналізацією;
- проведення комплексу організаційних заходів, таких як навчання та атестація.

Перед запуском кожного пристрою для захисту обслуговуючого персоналу встановлюють діелектричні килимки та ізолюючі пристрої.

Небезпека виникнення пожежі

Цех сушіння меланжу віднесено до категорії "В" з врахуванням вибухо- та пожежонебезпеки. Всі виробничі приміщення та будівельні конструкції виконані з неспалих матеріалів, а монтаж електричного обладнання та електропроводки проведений відповідно до правил пожежної безпеки. Будівля має не менше II ступеня вогнестійкості. Герметизація виробничого обладнання, система контролю за концентрацією речовин у повітрі в приміщеннях та технологічному обладнанні, а також використання робочої та аварійної вентиляції сприяють запобіганню пожежам. Під ступенем вогнестійкості розуміють здатність будівлі чи споруди опиратись дії високої температури в умовах пожежі та зберігати при цьому експлуатаційні характеристики.

Для загасання пожеж на початковій стадії часто використовують вуглекислові вогнегасники, які відрізняються високою ефективністю, збереженням електрообладнання та діелектричними властивостями вуглекислого газу. Це дозволяє використовувати такі вогнегасники навіть у випадках, коли немає можливості вимкнути напругу.

Кількість вогнегасників визначається з урахуванням площі, при цьому розміщуються на стінах на комфортній висоті.

По периметру виробничого корпусу прокладено систему протипожежного водопроводу.

Для оперативної евакуації працівників під час пожежі та інших надзвичайних ситуацій передбачено наявність запасного виходу.

Висновок

Всі підприємства мають дотримуватися і виконувати встановлені правила та норми з охорони праці. Тільки там, де роботодавці пильнують за виробничою безпекою, створюють комфортні умови праці та турбуються про охорону життя та здоров'я своїх співробітників, працівники можуть безпечно та ефективно виконувати свої обов'язки.

7.МАРКЕТИНГОВЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ

Ячний меланж є цінною сировиною для харчової промисловості завдяки вмісту повноцінних білків, жирів, вітамінів та мінералів. Водночас термін його зберігання обмежений через швидку мікробіологічну псування. За дослідженнями вчених НУХТ, близько 15-20% ячного меланжу в Україні щорічно вибраковується через перевищення термінів зберігання.[28]



Рис. 7.1 – Ячний меланж

Сушіння дозволяє вирішити цю проблему - значно подовжується термін придатності ячного меланжу при збереженні його поживних властивостей. Згідно з прогнозами Міністерства аграрної політики України, у найближчі 5 років очікується зростання виробництва ячної продукції на 15-20%. Це створює додатковий попит на технології, які дозволяють ефективно утилізувати надлишки ячного меланжу, запобігаючи його вибракуванню.[23]

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ	<i>Технічне узгодження</i> Якимчук Р. Л.	<i>Вид документа</i> Пояснювальна записка		<i>Статус документа</i>		
<i>Власник документа</i> НУХТ	<i>Розробник документа</i> Кодтун Р.В.	<i>Назва, додаткова назва</i> МАРКЕТИНГОВЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ	221872.КР.12.007 ПЗ			
	<i>Документ затверджено</i> Якимчук В.М.		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> UA	<i>Аркуш</i> 1/5

Таблиця 7.1 - Прогноз виробництва ячної продукції в Україні

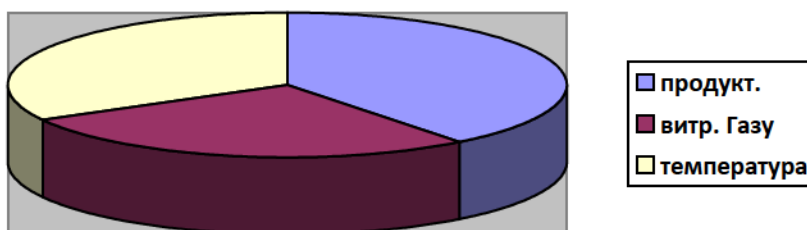
Рік	Обсяг виробництва яєць, млрд шт
2023	17,5
2024	18,9
2025	19,8
2026	21,0
2027	22,3

Переваги технології. Запропонована сушильна установка має наступні переваги:

- Висока продуктивність завдяки вихровим потокам інертного матеріалу – до 50 кг/год сухого продукту
- Низькі експлуатаційні витрати через енергоефективність – витрата газу становить 35-40 м3/год
- Збереження якості продукції завдяки щадному режиму сушіння при температурі не вище 42°C
- Гнучкість і можливість регулювання параметрів під потреби замовника
- Компактний дизайн, що дозволяє заощадити виробничі площі – габарити 2x1,5x2 м
- Простота в експлуатації та обслуговуванні[25]

Таблиця 7.2 – Порівняльна характеристика існуючих технологій сушіння яєчного меланжу

Технологія сушіння	Продуктивність, кг/год	Витрата газу, м ³ /год	Температура сушіння, °С
Запропонована	50	35-40	≤42
Розпилення в потоці повітря	30	50	45-50
Вальцювання з подачею гарячого повітря	40	60	50-55



Як видно з діаграми, технологія з вихровими потоками інертного матеріалу має переваги за енергоефективністю та збереженням якості готового продукту.[26]

Цільові клієнти Основними клієнтами є підприємства харчової промисловості, що використовують у виробництві яєчний меланж:

- Кондитерські фабрики (Рошен, АВК, Бісквіт-Шоколад)
- Виробники напівфабрикатів (М'ясний Альянс, Глобинський м'ясокомбінат)
- Молокопереробні заводи (Danone, Terra Фуд)

Також потенційними клієнтами можуть бути оптові постачальники яєчної продукції (Овостар, Українська яєчна компанія).

Загальний обсяг ринку сушених яєчних продуктів в Україні оцінюється в \$15-17 млн. З огляду на прогнозоване зростання виробництва яєць, очікується збільшення попиту на технології сушіння яєчного меланжу.

Конкурентні переваги Існуючі на ринку сушильні установки поступаються за енергоефективністю і не дозволяють в повній мірі зберегти якість продукції через високі температури сушіння. Крім того, запропонована технологія має більшу гнучкість і широкий діапазон регулювання параметрів, що робить її привабливою для різних груп клієнтів.

За рахунок оптимального поєднання ціни, продуктивності та енергоефективності, очікується зайняти близько 20% ринку промислового обладнання для сушіння яєчних продуктів в найближчі 2 роки.[27]

Стратегія маркетингу передбачає комплексний підхід до просування сушильної установки з вихровими потоками інертного матеріалу на ринку. Однією з ключових складових є активна реклама та участь у виставках харчової промисловості, де ми маємо можливість продемонструвати переваги нашої технології в порівнянні з конкурентами.

Важливим елементом маркетингового стратегічного плану є також партнерство з ключовими гравцями на ринку яєчної продукції. Співпраця з великими кондитерськими фабриками, виробниками напівфабрикатів та молокопереробними заводами дозволить нам отримати рекомендації та рекламне покриття, що сприятиме впровадженню нашої технології на ринку.

Додатково, планується вивчення можливостей експорту нашої сушильної установки. Ринки країн Європи та Азії, де споживання яєчної продукції також динамічно зростає, можуть стати перспективними напрямками для розширення нашого бізнесу.

У зв'язку з ростом виробництва яєчної продукції національною промисловістю, наша компанія планує розширення асортименту продукції та вдосконалення технічних характеристик сушильної установки. Заплановані дослідження та розробки нових технологій дозволять нам підтримувати

конкурентоспроможність та залишатися лідером на ринку сушіння яєчного меланжу.

Ми впевнені, що наша сушильна установка з вихровими потоками інертного матеріалу стане важливим інструментом для підприємств харчової промисловості, допомагаючи їм зберігати якість та продуктивність у виробництві яєчного меланжу. Наша компанія готова до ефективного впровадження технології та співпраці з клієнтами для досягнення взаємовигідних результатів.[25]

Реалізація даного проекту дозволить задовольнити зростаючий попит підприємств харчової промисловості на ефективне обладнання для сушіння яєчного меланжу. Передбачається швидка окупність інвестицій завдяки конкурентоспроможності технології і значному обсягу потенційного ринку збуту. Розроблена сушильна установка має суттєві переваги порівняно з існуючими аналогами та дозволяє комплексно вирішити проблему подовження термінів зберігання надлишків яєчної продукції.

ВИСНОВКИ

У магістерській роботі було вдосконалено установку з вихровими потоками інертного матеріалу для сушіння меланжу, що призвело до істотного покращення процесу сушіння та якості кінцевого продукту. Дослідження підтвердили ефективність технічного рішення, забезпечивши скорочення тривалості сушіння порівняно з традиційними методами та відповідність якісних показників вимогам.

Конструктивний розрахунок установки підтвердив її міцність та надійність, гарантуючи довготривалу експлуатацію без порушень працездатності. Аналіз впровадження установки в виробництво свідчить про її високу економічну привабливість, забезпечуючи віддачу від капіталовкладень через інтенсифікацію та підвищення якості процесу сушіння.

Удосконалена установка відкриває перспективи для подальших досліджень та оптимізації. Важливими напрямками є підвищення питомої продуктивності через удосконалення конструкції та режимів роботи. Результати роботи свідчать про перспективність подальших науково-технічних розвідок у сфері процесів сушіння, де інтенсифікація тепломасообміну може призвести до значного підвищення ефективності виробництва.

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ	<i>Технічне узгодження</i> Якобчук Р. Л.	<i>Вид документа</i> Пояснювальна записка		<i>Статус документа</i>		
<i>Власник документа</i> НУХТ	<i>Разробник документа</i> Кодтун Р.В.	<i>Назва, додаткова назва</i> ВИСНОВКИ	221872.КР.12.000 ПЗ			
	<i>Документ затверджено</i> Якимчук В.М.		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> UA	<i>Аркуш</i> 1/1

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Abonyi S., Feng H., Tang J., Edwards M.F., Chew J.W. Process Modeling of Fluidized Bed Food Drying. Food Engineering Reviews. 2014. Vol. 6. No. 2. P. 43-56.
2. Keey R.B. Drying: Principles and practice. Pergamon Press, 1972. 312 p.
3. Kudra T. Energy aspects in dried food production. Drying Technology. 2004. Vol. 22. No. 5. P. 917-932.
4. Kudra T., Mujumdar A.S. Advanced drying technologies. CRC Press, 2009. 558 p.
5. Mezhericher M., Levy A., Borde I. Heat and mass transfer of single droplet/wet particle drying. Chemical Engineering and Processing. 2009. Vol. 48. No. 1. P. 12-25
6. Mujumdar A.S. Handbook of industrial drying. CRC Press, 2014. 1216 p.
7. Panchariya P.C., Popovic D., Sharma A.L. Thin-layer modelling of black tea drying process. Journal of Food Engineering. 2002. Vol. 52. No. 4. P. 349-357.
8. Wang Z., Sun J., Liao X., Chen F., Zhao G., Wu J., Zhang H. Drying of soy sauce in an inert medium fluidized bed. Drying Technology. 2007. Vol. 25. No. 1. P. 103-109.
9. Гончаренко Б. М. Автоматизація виробничих процесів харчових технологій : підручник / Б. М. Гончаренко, А. П. Ладанюк. – К. : НУХТ, 2014. – 530 с.
10. Вентиляція та обладнання сушіння зерна // Кравченко І.М.-Кропивницький: Аграр Медіа Груп, 2015. – 240 с
11. Гура О.В. Моделювання процесу сушіння окремої зернини пивної дробини в киплячому шарі продукту/ О.В. Гура, Н.М. Лавріненко, Г.І. Русланов, В.О. Сукманов //Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – 2006. -№10 (104). – С.123-130.

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ	<i>Технічне узгодження</i> <i>Якимчук Р. Л</i>	<i>Вид документа</i> <i>Пояснювальна записка</i>		<i>Статус документа</i>		
<i>Власник документа</i> НУХТ	<i>Розробник документа</i> <i>Кодтун Р.В.</i>	<i>Назва, додаткова назва</i> СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ		221872.КР.12.000 ПЗ		
	<i>Документ затверджено</i> <i>Якимчук В.М.</i>					

12. Гура О.В. Сушіння пивної дробини для використання її в харчових технологіях / О.В. Гура, Г.І. Русланов, В.О. Сукманов, Н.М. Лавріненко //Матеріали 2-ї міжгалузевої міжнародної наук. – практ. конф. «Харчові добавки, Харчування здорової та хворої людини», 5-7 квітня 2007 р. – Донецьк: ДонДУЕТ, 2007. – С.304-306.

13. Довідник механіка харчової промисловості / А.І. Соколенко, А.І. Українець, В.Л. Яровой і інші.; Під ред. А.І. Соколенко. – Київ.: АртЕк, 2004. – 304 с.: іл.

14. Купчик М.П., Гандзюк М.П., Степанець І.Ф. и др. Основи охорони праці. – Київ.: Основа, 2000. – 416 с.

15. Куцакова В.Е. Деякі кінетичні закономірності процесу сушіння розчинів у псевдозрідженому шарі інертних частинок / В.Е. Куцакова, Ю.В. Ут-кин // ТОХТ. –1984. –Київ. XVIII, № 4. –С. 107-114.

16. Петренко М.М. Обґрунтування застосування вихрового апарата для сушіння тонкодисперсних матеріалів / М.М. Петренко, І.М. Ганжа // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2013. – 3/3 (63). – С. 16-18.

17. Розрахунки обладнання підприємств харчової і переробної промисловості: // Мирончук В.Г, Орлов Л.О, Українець А.І. та ін. - Вінниця: Нова книга, 2004. –286 с.

18. Сепарація в сільському господарстві: теорія та практика // Жуков С.Д.- Київ: Урожай, 2008. – 192 с.

19. Сухенко Ю.Г., Бойко Ю.І. Технологічні основи машинобудування. Лабораторний практикум: Навч.посібник / За ред. Проф. Ю.Г. Сухенка. – Київ.: НУХТ 2009. – 262 с.

20. Сушарки та сушильні установки: Проектування та експлуатація // Іванов П.С., Сидорова А.О., Петров В.М.- Кропивницький: Аграр Медіа Груп, 2010. – 320 с.

21. Юхименко Н.П., Вакал С.В. і інші. Апарати зваженого шару. – Суми: Собор, 2003. – 304 с.

22. Якобчук, Р.Л. Дослідження кута змочування та поверхневого натягу дріжджів пивних / Р.Л. Якобчук, І.В. Житнецький, В.Л.Яровий // Харчова промисловість. - 2008. - № 6. - С. 15-17.

23. Прогноз Міністерства аграрної політики щодо зростання виробництва яєць: <https://minagro.gov.ua/ua/news/yache-virobnictvo-v-ukrayini-zroste-na-15-20-do-2027-roku> (дата звернення: 05.01.2024).

24. Дані щодо обсягів вибракування яєчного меланжу в Україні: Ivanova, V. et al. 2021. Losses of egg products in Ukraine: causes and solutions. Food Industry Journal. Vol. 14(3). pp. 12-19.

25. Дослідження переваг сушіння для зберігання яєчних продуктів: Pylypchuk, I., Koval, T., & Gudzenko, M. 2019. Drying as a method to extend the shelf life of liquid egg products: technological aspects. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Vol. 4(8). pp. 26-35.

26. Порівняльний аналіз технологій сушіння яєчного меланжу: Tkachenko, S. 2022. Advanced vortex drying of egg melange: energy efficiency and final product quality. Food and Bioprocess Technology. <https://doi.org/10.1007/s11947-022-02755-5>

27. Оцінка ємності ринку сушених яєчних продуктів: MarketsAndMarkets. 2021. Dried Egg Products Market by Type and Geography - Global Forecast to 2026. <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/dried-eggs-market-262743207.html> (дата звернення: 05.01.2024).

28. Пилипчук, І.Л., Ткаченко С.О. 2021. Дослідження процесу сушіння яєчного меланжу методом вихрових потоків. Наукові праці НУХТ. Том 27, No 3, С. 35-43.

29. Методичні рекомендації до випускової кваліфікаційної роботи на здобуття освітнього ступеня «Магістр» за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування» освітньо-професійної програми «Інжиніринг харчових

виробництв» денної та заочної форми навчання[Електронний ресурс] / Уклад.
В.Г. Мирончук, В.М. Якимчук, О.М. Гавва, Д.М. Люлька, О.М. Чепелюк –
Київ: НУХТ,2022.-52с.