

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет) ННІТІ ім. акад. І.С. Гулого

Кафедра Машини і апарати харчових та фармацевтичних виробництв

«До захисту в ЕК»

Директор інституту(декан факультету)

_____ Сергій Блаженко
(підпис) (прізвище та ініціали)

« ____ » _____ 2022 р.

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Олександр Гавва
(підпис) (прізвище та ініціали)

« ____ » _____ 2022 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА

зі спеціальності 133 "Галузеве машинобудування"

(код та назва спеціальності)

освітньо-професійної програми Інжиніринг харчових та біотехнологічних виробництв

на тему: Дослідження та удосконалення апарату для сушіння продуктів мікробіологічного синтезу

Виконав: здобувач 2 курсу, групи ОФ-2-6м

Строкач Олексій Вадимович

(прізвище, ім'я, по батькові повністю)

_____ (підпис)

Керівник: доц. Доломакін Юрій Юрійович

(прізвище, ім'я та по батькові повністю)

_____ (підпис)

Консультанти

_____ (прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

_____ (прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

_____ (прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Рецензент

_____ (прізвище та ініціали)

_____ (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)

Київ – 2022 р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут Навч.-науковий інженерно-технічний інст. ім. акад. І.С. Гулого

Кафедра Машини і апарати харчових та фармацевтичних виробництв

Освітній ступінь бакалавр

Спеціальність 133 «Галузеве машинобудування»

(код і назва)

Освітньо-професійна програма Інжиніринг харчових та біотехнологічних виробництв

(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

проф. Гавва О.М.

“ ” _____ 2021 року

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Строкач Олексій Вадимович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження та удосконалення апарату для сушіння продуктів мікробіологічного синтезу

керівник роботи Доломакін Юрій Юрійович, доцент, к.т.н.

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

затверджені наказом закл. вищої осв. від “02” листопада 2021 року № 869-кс

2. Строк подання здобувачем роботи 01 лютого 2022 р.

3. Вихідні дані до роботи технічний паспорт обладнання; кресленики обладнання; навчальна нормативна та спеціальна література

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) анотація, зміст; вступ, аналіз сучасного стану об'єкта дослідження, вибір і обґрунтування основного напрямку дослідження; предмет, об'єкт, методи досліджень, розробка нових технічних рішень об'єкта дослідження; розробка ефективної конструкції сушильного апарату, економічні розрахунки, охорона праці, загальні висновки, список використаних літературних джерел, додатки

5. Перелік графічного матеріалу

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 5 листопада 2021 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Анотація, зміст</i>	<i>15.11.21</i>	
2	<i>Вступ</i>	<i>20.11.21</i>	
3	<i>Аналіз сучасного стану об'єкта дослідження</i>	<i>05.12.21</i>	
4	<i>Вибір і обґрунтування основного напрямку дослідження</i>	<i>25.11.21</i>	
5	<i>Предмет, об'єкт, методи досліджень</i>	<i>15.12.21</i>	
6	<i>Розробка нових технічних рішень об'єкта</i>	<i>10.01.22</i>	
7	<i>Розробка конструкції сушильного апарату</i>	<i>15.01.22</i>	
8	<i>Економічні розрахунки</i>	<i>19.01.22</i>	
9	<i>Охорона праці</i>	<i>25.01.22</i>	
9	<i>Загальні висновки</i>	<i>26.01.22</i>	
10	<i>Список використаних літературних джерел</i>	<i>28.01.22</i>	
11	<i>Презентація</i>	<i>01.02.22</i>	

Здобувач

(підпис)

Керівник роботи

(підпис)

Олексій Строчак

(прізвище та ініціали)

доц. Доломакін Ю.Ю.

(прізвище та ініціали)

Анотація

Метою кваліфікаційної роботи є розробка вдосконаленої конструкції сушильного апарату для отримання продуктів мікробіологічного виробництва.

Реалізована ця мета за допомогою імітаційного моделювання у програмному комплексі FlowVision. В результаті були отримані основні гідродинамічні характеристики, результати яких були порівняні з теоретичними розрахунками. На порівнянні отриманих результатів було зроблено висновок про їх достатню схожимість.

Запропонована конструкція крильчатки забезпечує отримання якісного диспергування напівфабрикату, що підтверджується параметром вихрової дифузії. Дана крильчатка може бути встановлена практично у кожному сушільному апараті розпилювальної дії у якому йде обробка продуктів мікробіологічного синтезу.

Ключові слова: сушарка, крильчатка, кров, FlowVision, імітаційне моделювання.

Summary

The purpose of the qualification work is to develop an improved design of the dryer for the production of microbiological products.

This goal is realized with the help of simulation modeling in the FlowVision software package. As a result, the main hydrodynamic characteristics were obtained, the results of which were compared with theoretical calculations. Comparing the obtained results, it was concluded that they have sufficient convergence.

The proposed design of the impeller provides high-quality dispersion of the semi-finished product, which is confirmed by the parameter of vortex diffusion. This impeller can be installed in almost every spray dryer in which the products of microbiological synthesis are processed.

Key words: dryer, impeller, blood, FlowVision, simulation.

ЗМІСТ

Вступ.....	7
1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ, ВИБІР І ОБҐРУНТУВАННЯ ОСНОВНОГО НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	9
1.1. Теоретичні відомості про сушіння. Види взаємодії вологи і речовини.....	12
1.2. Класифікація сушильних апаратів.....	15
1.3. Конструкції, принцип дії та технічні характеристики деяких розпилювальних сушарок.....	18
1.4. Обґрунтування актуальності дослідження, формулювання мети та завдань роботи.....	20
2. ПРЕДМЕТ, ОБ'ЄКТ, МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ	
2.1. Характеристика крові.....	21
2.2. Методи визначення параметрів крові.....	22
2.3. Опис розпилювального апарату.....	24
2.4. Методи дослідження.....	27
3. РОЗРОБКА НОВИХ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ	
3.1. Опис математичної моделі.....	30
3.2. Розрахунок математичної моделі об'єкта дослідження.....	46
3.3. Створення геометричної моделі.....	52
3.4. Моделювання процесу сушіння за допомогою програми FlowVision.....	60
4. РОЗРОБКА ЕФЕКТИВНОЇ КОНСТРУКЦІЇ СУШИЛЬНОГО АПАРАТУ	
4.1. Опис удосконаленого розпилювального апарату.....	91

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження доц. Доламакін Ю.Ю.	Вид документа Пояснювальна записка		Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Стракач О.В.	Назва, додаткова назва Зміст	200504.KP.03.000.00.ПЗ				
	Документ затверджено Гавва О.М.		Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 1/121	

4.2. Розрахунок основних конструктивних елементів.....	93
4.2.1. Розрахунок продуктивності апарату по сировині і висушеному матеріалу.....	95
4.2.2. Тепловий розрахунок.....	98
4.2.3. Розрахунок основних робочих елементів.....	100
4.2.4 Конструкція і розрахунок основних розмірів сушильної камери.....	101
4.2.5. Розрахунок теплової ізоляції.....	102
4.3. Опис лінії.....	103
5. ЕКОНОМІЧНІ РОЗРАХУНКИ.....	105
6. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ДОВКІЛЛЯ.....	110
6.1.Охорона праці.....	112
6.2.Охорона довкілля.....	115
Висновки.....	117
Список використаних джерел.....	118
Додатки.....	120

ВСТУП

В останні роки фармацевтична галузь України динамічно розвивається і зазнає позитивних зрушень. Україна має власне фармацевтичне виробництво, розвинуту дистриб'юторську мережу та розгалужену аптечну мережу усіх форм власності.

Фармацевтична галузь посідає значне місце і в економіці України, оскільки є важливим сегментом національного ринку, багато в чому визначає національну і оборонну безпеку країни, відрізняється великою наукоємною і розвиненою кооперацією.

На сучасному етапі вітчизняний ринок фармацевтичних препаратів характеризується широким асортиментом лікарських засобів, високими цінами та, на жаль, відсутністю виробництва препаратів згідно зі стандартами GMP. Характерною ознакою є також висока матеріаломісткість фармацевтичного виробництва, яка значно перевищує середні показники у промисловості України. Оскільки фармацевтичне виробництво відрізняється широтою асортименту і номенклатурою вихідної сировини, основних і допоміжних матеріалів і обумовлює досить високу імобілізацію грошових коштів у створення виробничих запасів, дослідження сучасного стану цієї галузі та динаміки її розвитку є актуальним.

Загострення екологічних проблем, зростання вартості енергоресурсів зумовили значний інтерес до використання енергоресурсоощадних технологій перероблення сировини. Нині проблематика перероблення сировини та продуктів з метою зменшення їх втрат, збільшення термінів зберігання, підвищення якості харчових продуктів та їх конкурентоздатності є пріоритетною для України. Одне із найперспективніших напрямів вирішення цих завдань – створення потужних сушильних комплексів, які б з використанням сучасних технологій за мінімальної витрати енергоресурсів та мінімальних втрат забезпечили високу якість кінцевого висушеного

продукту. Проте, сьогодні сучасна сушильна техніка і технології впроваджуються несистемно, без застосування вітчизняного обладнання та технологій [1].

Основними причинами цього можна назвати відсутність науково-обґрунтованих методів створення замкнених енергоресурсоощадних технологій сушіння сировини і техніки для їх реалізації, насамперед методик аналізу й розрахунку процесів, що відбуваються в їхніх елементах, а також відсутність методик комплексного термодинамічного аналізу сушильних установок. Світове підвищення цін на паливо зумовило в розвинених країнах інтенсивне впровадження енергоресурсоощадних технологій, що, в свою чергу, призвело до значного скорочення питомих витрат паливно-енергетичних ресурсів. Визначальним фактором, що сприяв досягненню таких результатів, стала послідовна законодавча та економічна політика держав у сфері енергозбереження й охорони довкілля. Таким чином, вітчизняні підприємства мають потужний потенціал щодо підвищення енергоефективності, відповідно, раціональне використання паливно-енергетичних ресурсів може забезпечити значний економічний ефект [1,2].

Масштаби діяльності в сучасних виробництвах створюють необхідність виключення помилок в оперативному управлінні процесом, оскільки існує можливість порушення замовленої специфікації продукту та великий ризик з точки зору вартості втраченого/погіршеного продукту. Вказана небезпека також обумовлюється витратами через зупинку/пуск великого виробництва в разі несправностей, кожна з яких може бути викликана недостатньо керованим процесом [1,2].

Сьогодні, у зв'язку з різноманітністю складних сумішей, які підлягають сушінню, виникла необхідність розробки формалізованої методики, заснованої на фізико-хімічних і термодинамічних властивостях процесу сушіння. Краще розуміння біохімічних властивостей сировини перед потраплянням у сушильну камеру, передача води під час розпилення в

сушильній камері, властивості порошків і факторів впливу на процес стали невід’ємною частиною технології виробництва. В пошуках більш сучасних стратегій керування процесами при виробництві сухих продуктів необхідне розуміння статичних і динамічних властивостей цих процесів, однак опис і розвиток повних, точних математичних моделей є ускладненим через значну кількість фізичних, хімічних і механічних властивостей технологічних систем. Так, складові характеристик входять, наприклад, у тепло- і масопередачі як у частці елемента середовища, так і на межі між твердою та рідкою фазою частки й оточуючого середовища [1,2]. Складність перетворень, які необхідно представити математичними виразами, характеризується наявністю перехресних зв’язків між змінними об’єкта. Відсутність технічно й економічно виправданих математичних моделей перешкоджає здійсненню виробниками оптимізації параметрів процесу з точки зору витрат енергії та якості порошку.

При розпилювальному сушінні продукт тонко диспергується на частки у потік теплоносія, при цьому істотно збільшується поверхня контакту фаз і, як наслідок, значно підвищується інтенсивність тепло- і масообмінних процесів. Специфічні особливості сушіння розпиленням обумовлюють ряд характерних переваг цього способу: висока якість висушеного продукту і відсутність його перегріву внаслідок інтенсивного випаровування і короткочасного контакту з сушильним агентом; готовий порошок продукт не вимагає подрібнення і володіє високою розчинністю і ін. [2,3,4].

Вдосконалення процесів сушіння приділяється велика увага, так як саме ця стадія досить енергоємна, тому в значній мірі визначає вартість готового продукту і, крім того, чинить істотний вплив на якісні показники товарної продукції.

У розвиток теорії та техніки сушіння дисперсних матеріалів значний вклад внесли вітчизняні та зарубіжні вчені А. С. Гінзбург, А. В. Ликов, в. І. Муштаев, П. А. Ребиндер, П. Р. Романків, Б. З. Сажин, в. І. Попов, І. Т.

Кретов, В. Ю. Алексанян, С. Т. Антипов, А. Н. Остриков, К. Р. Філоненко, В. М. Ульянов, Б. В. Леончик, В. О. Куцакова, О. Крішер, М. А. Гришин, Р. В. Семенов та інші [2,3,5].

Як відзначається в ряді основоположних праць в області тепло- і масообміну і сушіння поширеним прийомом підвищення ефективності розпилювальних сушарок, при зменшенні витрат сушильного агента, зниження енерговитрат і питомих габаритів сушильної камери, вважається підвищення початкової температури сушильного агента. Однак стосовно до термолабільних продуктів, цей прийом підвищення техніко-економічних показників сушильної установки вступає в протиріччя з необхідністю забезпечення високої якості кінцевих продуктів.

Отже, сушку продуктів слід виконувати, строго контролюючи та регулюючи всі параметри процесу, включаючи температуру об'єктів зневоднення, швидкість. Оцінити поля температур в рухомих тонкодисперсних частинках при високій інтенсивності процесу промислової розпилювальної сушки експериментально неможливо [2,5].

В останні роки чисельної реалізації математичної моделі тепломасо-переносу присвячено багато робіт, серед яких слід відзначити дослідження В. Ю. Алексаняна, С. Т. Антипова, А. Н. Острикова, А. А. Шевцова та інших. Зокрема, актуальні роботи В. Ю. Алексаняна, присвячені розробці чисельно-аналітичної методики визначення коефіцієнтів молярного перенесення пари і масопровідності в неізотермічних умовах з урахуванням режиму і кінетики зневоднення, термодинамічних параметрів взаємодії об'єкта сушіння з водою, комплексу фізико-хімічних властивостей матеріалу [5].

Спосіб, конструкція установки та режими сушіння повинні прийматися на основі аналізу результатів комплексу експериментально-аналітичних досліджень з вивчення фізико-хімічних властивостей об'єктів переробки та раціоналізації сушильного процесу, так як стадія сушіння визначає функціональні властивості продуктів, які прямо впливають на їх комерційний

успіх [1,5].

Інтерес становлять наукові роботи, спрямовані на розробку і впровадження раціональних конструкцій розпилювальних сушарок дозволяють реалізовувати на практиці нестационарні аеродинамічні режими при сушінні, або розроблення рекомендацій щодо модернізації діючої сушильної техніки для збільшення продуктивності і термічного коефіцієнта корисної дії.

Враховуючи попередні дослідження викладені в дисертаційних роботах Михалева Т.В., [2,3] а також Шутюк В.В. на основі комплексних теоретичних дослідів із застосуванням методів термодинамічного аналізу та основ математичного моделювання проаналізувати швидкість руху частинки в розпилювальній сушильній установці.

Відповідно до поставленої мети розв'язати наступні завдання дослідження:

- **Виконати системний аналіз процесу сушіння продуктів;**
- **Проаналізувати сучасний стан питання дослідження та перспективні напрямки розвитку;**
- **Описати методи визначення параметрів крові;**
- **Розробити математичну модель визначення швидкості витання частинки та провести розрахунки;**
- **Запропонувати конструктивне рішення інтенсифікації процесу розпилення відцентровим диском;**
- **Провести конструктивний розрахунок.**

Об'єкт дослідження – розпилювальний апарат.

Предмет дослідження – процес сушіння тваринної крові.

Методи дослідження — аналітичні, що полягають у застосуванні фізичного та математичного моделювання процесів, застосування інформаційно-комп'ютерного забезпечення на базі сучасних інтегрованих систем Microsoft Office 2007, комп'ютерних програм КОМПАС, Flow Vision.

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

1.1. Теоретичні відомості про сушіння. Види взаємодії вологи і речовини.

Теорія сушіння заснована на базі фундаментальних аналітичних експериментальних досліджень. Сучасні дослідження різних процесів, виконуються двома методами: молекулярно-кінетичним і термодинамічним. Перший метод дозволяє розробити стійку теорію тепло – і масообміну вологих колоїдних капілярно-пористих тілах при наявності і утворенні в них фазових переходів. Ця теорія розкриває молекулярну природу і механізм явищ, що характеризує кінетику їх протікання.

Другий метод застосований на відомих законах класичної термодинаміки, за допомогою цього метода вивчають кінцеві енергетичні потоки рушійних сил, а молекулярна структура речовини і механізм процесу не розглядається.

Термодинаміку необоротних процесів вважають теплофізичною основою теорії сушіння [6], вона дозволяє дати математичний опис процесів тепло- і масообміну. В термодинаміці необоротних процесів нерівність системи характеризується швидкістю зміни ентропії в часі.

В основу класичної форми зв'язку вологи з матеріалом в даний час прийнята схема, яку запропонував Ребіндер П.А. Зв'язок вологи з матеріалом може бути механічним, фізико-хімічним і хімічним. Механічний зв'язок означає, що волога знаходиться у порах продукту і на його поверхні. Капілярно зв'язана волога заповнює макро- і мікрокапіляри. Вона механічно пов'язана з матеріалом і найлегше видаляється. Тиск пари над поверхнею матеріалу є тим меншим, чим міцнішим є зв'язок між водою і матеріалом [6,7,8].

Фізико-хімічний зв'язок вологи з матеріалом буває адсорбційним (волога утримується на внутрішній поверхні капілярів та пористості продуктів), осмотичним (вода пов'язана з матеріалом за рахунок

сил осмотичного тиску) і структурним (вода утримується всередині клітин рослинного чи тваринного походження). Під хімічно зв'язаною вологою мають на увазі воду, яка в результаті реакції гідратації увійшла до складу гідроокису і з'єднань типу кристалогідратів [9].

1.2. Класифікація сушильних апаратів

У хімічній, гірничій, харчовій та інших галузях залежно від способу підведення теплової енергії використовують конвективні, контактні, терморадіаційні, сушіння при нагріванні струмами високої частоти, акустичне сушіння, сублиматичне, вакуумні методи сушіння [9].

При конвективному сушінні тепло передається від джерела теплової енергії до поверхні матеріалу, що піддається сушінню за допомогою теплоносія. Як теплоносії використовують повітря, інертні гази, димові гази, перегріту пару. Фізична сутність процесу зводиться до видалення вологи з матеріалу за рахунок різниці парціальних тисків над матеріалом та в навколишньому середовищі. При вирівнюванні парціальних тисків настає рівновага і процес сушіння припиняється. Таким чином, при конвективному сушінні волога переміщається до поверхні за рахунок градієнта вологості, градієнт температури дещо гальмує цей процес. За рахунок різниці температур на поверхні і всередині матеріалу відбувається рух вологи до середини, у напрямку зниження температури. Рівноважна вологість, а відповідно і перебіг процесу конвективного сушіння залежать від властивостей матеріалу, що підлягає сушінню, характеру зв'язку з ним вологи і параметрів навколишнього середовища.

При контактному сушінні тепло матеріалу, що піддається сушінню передається через нагріту перегородку, що контактує з матеріалом. Термодифузія і дифузія за рахунок різниці концентрації вологи є однаково спрямованими, що сприяє деякій інтенсифікації процесу на першому періоді сушіння. У другому періоді різниця температур зменшується, тому дещо знижується інтенсивність сушіння [9].

Серед переваг контактного сушіння можна виділити високу швидкість обробки. Це пов'язано з підвищеною тепловіддачею, яка відбувається в результаті безпосереднього контакту продукту з гарячою поверхнею.

Незважаючи на високу швидкість сушильного процесу, контактний метод сушіння у фармацевтичній промисловості майже не застосовується. У зв'язку з тим, що продукт безпосередньо контактує з поверхнею сушильної камери, тепло розподіляється нерівномірно, що призводить до пересушування продукту. Продукт по закінченні обробки втрачає великий відсоток вмісту поживних речовин і вітамінів [9,10,11].

При сушінні інфрачервоними променями напрямки потоку вологи (градієнт вмісту вологи) і потоку тепла (градієнт температури) є протилежними, що дещо знижує швидкість сушіння у перший період. При поступовому прогріванні тіла волога переміщається всередину шару матеріалу, вміст вологи у віддалених від поверхні шарах зростає і виникає значний перепад вмісту вологи у тілі. До кінця періоду опромінення тіло прогрівається, перепад температур зменшується, волога рухається до поверхні і починає інтенсивно випаровуватись. Інтенсивність випаровування підвищується в десятки разів.

Сушіння при нагріванні струмами високої частоти. Матеріал розташовується між двома електродами, до яких підводиться змінний струм високої частоти. Під дією електричного поля іони і електрони в матеріалі змінюють напрям руху синхронно із зміною знаку заряду електродів, дипольні молекули набувають обертового руху, а неполярні молекули поляризуються в результаті зміщення їхніх зарядів. Ці процеси приводять до появи електричних струмів та виділення тепла, яке прогріває матеріал і сприяє просуванню вологи до периферійних шарів та випаровування її з поверхні тіла.

Акустичний метод сушіння продуктів ґрунтується на дії на зневоднюваний продукт інтенсивних ультразвукових хвиль. Даний процес

сушіння носить циклічний характер, хвиля вибиває вологу, що знаходиться на поверхні продукту, потім волога, яка залишилася рівномірно розподіляється по капілярах і процес повторюється знову. Це відбувається до тих пір, поки продукт не досягне заданої вологості.

Під час акустичного сушіння продукт не піддається тепловій обробці, він обробляється в холодному вигляді; через відсутність температурного впливу продукт зберігає майже всі поживні речовини та вітаміни, не втрачає свої початкові властивості, не піддається окисленню. Структура капілярно-пористих і термочутливих матеріалів повністю зберігається, не втрачаючи первісну форму [10,11].

При температурах, нижчих за 0°C вільна волога замерзає і її випаровування відбувається без плавлення. Перенос пари від поверхні випаровування через шар тіла відбувається шляхом дифузії, так як при цьому радіус капілярів є меншим за середню довжину вільного пробігу молекул. Абсорбційно зв'язана волога перебуває у переохолодженому стані, вона видаляється шляхом перетворення рідини в пару. У кінці процесу сушіння сублімація льоду закінчується і подальше сушіння відбувається при температурі вищій за 0°C . Отже, сублімаційне сушіння включає в собі сублімацію льоду (сушіння шляхом випаровування льоду), випаровування переохолодженої рідини всередині тіла і випаровування зв'язаної рідини при температурі вищій за 0°C до кінця процесу сушіння.

В залежності від напрямку руху матеріалу сушіння і сушильного агента: прямотечійні — напрями руху матеріалу сушіння і сушильного агента збігаються; протитечійні — напрями руху матеріалу сушіння і сушильного агента є протилежними; перехресні — напрями руху матеріалу сушіння і сушильного агента перетинаються; пасивні — наприклад такі як ексикатор.

За конструктивним виконанням сушильні апарати бувають: камерні, шнекові, пневматичні трубні, тарілчасті, роторні, барабанні, стрічкові, шахтові, вихрові, киплячого шару, аерофонтанні, вальцові, вібраційні,

розпилювальні.

За видом сушильного агента: нагріте повітря; димові або інертні гази; суміш повітря з димовими газами; перегріту або насичену пару; рідкий теплоносіє; електричний струм.

За способом нагрівання сушильного агента: устаткування з паровими калориферами; з вогневими калориферами; з топками на рідкому паливі; з топками на газовому паливі.

За кратністю використання сушильного агента: з однократним використанням нагрітого повітря; з багатократним використанням нагрітого повітря.

За видом об'єкта сушіння: для твердих матеріалів (крупних, дрібних, пилоподібних); для рідких матеріалів; для пастоподібних продуктів[9].

Сучасні експериментальні дослідження направлені на застосування низькотемпературних режимів сушіння. Велика увага приділяється вивченню процесу сушіння тому, що він є одним із основних теплових технологічних процесів що впливає на якість виробництва сухих продуктів [4]. У більшості випадків останній фактор є основним, тому що отримання кінцевого продукту із заданими характеристиками (низький вологовміст, пористість, збереження складових речовин, стабілізація натурального забарвлення тощо) може бути раціонально реалізовано лише в разі використання певних способів і режимів зневоднення [4].

Для вибору оптимального режиму сушіння продуктів з недостатньо вивченими теплофізичними властивостями, до якості яких ставляться високі вимоги, найкраще за своїми характеристиками підходить розпилювальна сушарка.

У процесі розпилення матеріалу з незначною в'язкістю, може бути досягнутий високий ступінь дисперсності, а відповідно, і більша інтенсивність процесу сушіння. Пояснюється це тим, що під час тонко дисперсного розпилення частинки мають високий коефіцієнт

теплопровідності, тому гальмівний вплив опору волого провідності в полі градієнта концентрації вологи, який за будь-якого конвективного сушіння спрямований проти градієнта температури, практично зводиться до нуля[4,9].

Через високу вологість початкового продукту – крові, температура частинок у зоні найбільшої теплової напруги сушильної камери під час сушіння розпиленням близька до температури адіабатного випарювання чистої рідини. Тому сухий продукт на виході розпилювальної сушарки зрівнюється за якістю з продуктом, одержаним у процесі сушіння під розрідженням. Крім того, перевагою процесу сушіння розпилення є можливість порівняно легкого регулювання і, як наслідок, змінювання в потрібному напрямі якісних показників сухого продукту залежно від умов сушіння. До того ж розпилювальні сушарки дають можливість на одному розпилювальному пристрої досягнути великої продуктивності. Це особливо важливо, під час роботи з новими продуктами [4].

Застосування дискового робочого органу, потребує великих діаметрів камери, і як наслідок невисоку швидкість повітря по периметру камери. В цьому випадку спосіб введення і розподілу сушильного агента в камері значно впливає на процес сушіння дисперсного матеріалу.

Специфіка процесу в даному випадку потребує створення інтенсивних радіальних потоків повітря від диска до стінок камери і від стінок до диску за рахунок вентиляційного ефекту останнього. При цьому в площині факелу розпилення утворюється розрідження, спричиняючи циркуляцію повітря в зоні над факелом та і в нижній зоні. Якщо диск розташований поблизу від даху камери і факелом там створюється розрідження, що викликає викривлення траєкторії польоту капель і частинок і накопичення матеріалу на даху камери [2,3,5,11,13].

Використовують різні конструкції і типи сушильних апаратів, з різним способом підведення і відведення теплоносія, розпилення, параметричних характеристик, температурних режимів, способу подачі продукту (рис. 1.1)

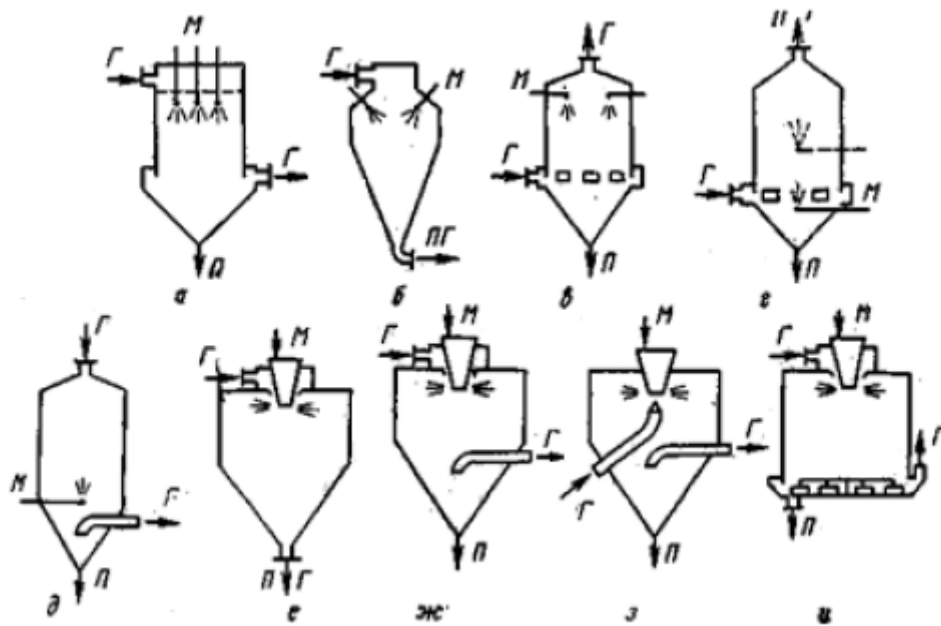


Рис. 1.1 Схеми розпилювальних сушарок

а, б – форсунки прямотечіїні; в – форсунки з протитечіїні;
г – форсунки прямотечіїні, подача зверху; д – форсунки з фонтаноподібною подачею; е – дискова прямотечіїна; ж – дискова з подачею повітря в факел розпилення і окремим відведенням повітря і продукту;
з – дискова з подачею повітря під факел і окремим відведенням повітря і продукту; и – дискова з плоским днищем;
Г – повітря; М – матеріал; П – продукт.

При підведенні повітря в корінь факелу розпилення максимально використовується горизонтальна зона польоту капель з великою швидкістю, зменшується діаметр факелу і забезпечується подача повітря к диску. Під час сушіння термочутливих продуктів повітря підводять до нижньої сторони факелу розпилення (рис. 1.1, з).

Як при верхньому так і при нижньому способі підведення повітря потік закручується за допомогою розподільних лопаток. Напрямок закручення повинен співпадати з напрямком обертання диску; в іншому випадку отримується несприятлива форма факелу розпилення за рахунок різкого відхилення траєкторії капель від горизонтальної площини зверху або вниз.

Сушарки з протитечією використовуються при умовах достатньо

грубого розпилення, що забезпечує отримання частинок, швидкість витання яких перевищує швидкість повітря в сушарці. Застосовують для термостійких продуктів, коли необхідно збільшити насипну щільність порошку, глибока сушка і сушіння матеріалів з яких важко видаляється волога [2,3,5,11,13].

Конструкції робочих органів. Розпилювач перетворює подається рідина в дрібнодисперсний туман з високим співвідношенням площі поверхні до об'єму, що забезпечує швидку, акуратну і дбайливу сушку. Його конструкція робить сильний вплив на характеристики кінцевого продукту з точки зору розміру частинок і гранулометричного розподілу, форми, пористості, сипучості і багатьох інших параметрів.

Відцентрові диски і розпилювальні форсунки дозволяють працювати з будь-якими видами завантажуваного матеріалу, який можна подавати від одного кілограма до декількох тонн на годину; забезпечують надійну відтворюваність і просте налагодження параметрів. Розмір крапель може варіювати в діапазоні від одного до сотень мікрон по діаметр. Тип розпилювачів: лопатеві, зубчасті або перфоровані диски, що обертається на високій швидкості. Відцентрова сила, що забезпечується електродвигуном або повітряної турбіною, розпорошується продукт в горизонтальному напрямку тонко дисперсний крапельний аерозоль [11,13].

Дискові розпилювачі підходять для в'язких і абразивних матеріалів або мас з високим вмістом твердого компонента, оскільки дозволяють контролювати однорідність аерозолі. В даний час використовують широкий діапазон дискових розпилювачів продуктивністю до 12000 кг/год.



Рис. 1.2 Диск Кеснера



Рис. 1.3 М-диск

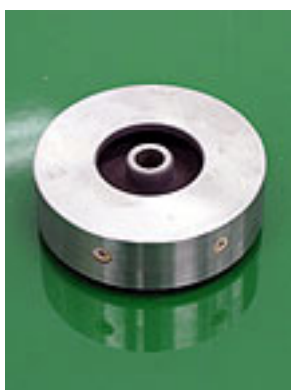


Рис. 1.4 Диск з лопатками



Рис. 1.5 Щілинний
лопастний диск

Вигнуті зуби унікального М-диска змушують рідину розподілитися тонким рівномірним шаром по всій висоті диска. Краплі набувають виразну форму, тим самим досягається більш висока чіткість розподілу частинок за розмірами в порівнянні з іншими типами дисків. Вузька спрямованість крапель не тільки забезпечує відмінну плинність отриманого порошку, але і збільшує продуктивність в цілому.

На відміну від дискових розпилювачів, форсунки перетворюють енергію тиску, одержувану від живильного насоса, в кінетичну, завдяки якій і утворюються окремі краплі. Змінні сопла форсунок дають можливість пристосуватися до різних виробничих умов. Форсунки дозволяють розмістити кілька розпилювачів в одній камері і тим самим підвищити продуктивність [11,13].

1.3. Конструкції, принцип дії та технічні характеристики деяких розпилювальних апаратів

Сушарка А1-ОРЧ (рис. 1.6) безперервної дії призначена для сушіння кави, молока, меланжу та ін. рідких розчинів. Представляє собою циліндричну камеру великого об'єму. Продукт розпилюється за допомогою механічних або пневматичних форсунок, відцентрових дискових і ультразвукових розпилювачів. Розпилений продукт під дією високої температури висушується і 70% сухого порошку на дно сушильної камери, а 30% забирається з повітрям [10,11].

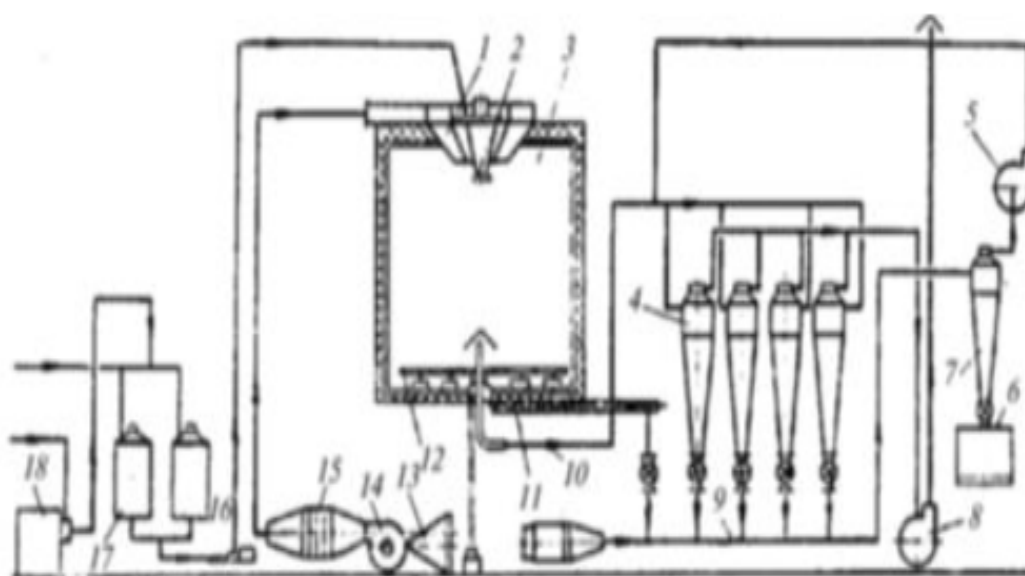


Рис. 1.6 Принципова схема прямоотечіної розпилювальної сушильної установки А1-ОРЧ 1 – повітророзподільник; 2 – розпилювач; 3 – сушильна камера; 4 – головний циклон; 5 – додатковий вентилятор; 6 – бункер; 7 – розвантажувальний циклон; 8 – витяжний вентилятор; 9 – лінія пневмотранспорту; 10 – повітроохолоджувач; 11 – шнек; 12 – скребковий механізм; 13 – фільтр; 14 – нагнітальний вентилятор; 15 – калорифер; 16 – гвинтовий насос; 17 – ємності; 18 – гомогенізатор

Таблиця 1.1

Технічна характеристика розпилювальної сушарки А1-ОРЧ

№	Назва	А1-ОРЧ	А1-ОР2Ч
1.	Продуктивність по сухому	450-500	580-700

	продукту , кг/год		
2.	Потужність, кВт	113	130
3.	Витрати пари, кг/год	1250	1900
4.	Тиск пари, МПа	1	
5.	Площа, м ²	260	
6.	Питома витрата на 1 кг сухого продукту		
	Електроенергії, кВт год	0.25-0.23	0.22-0.18
	Пари, кг	2.8-2.5	3.2-2.7
7.	Висота, м	12,5	
8.	Вага, кг	30000	40000

Повітря очищується від сухого порошку в циклонах і відсмоктується вентилятором. Із сушильної камери порошок транспортується шнеком в пневмотранспорту лінію, де охолоджується.

В модернізованій сушарці А1-ОРЧ циклони замінили на рукавні фільтри. Стінки очищуються пневматично і збільшені витрати агента сушіння, що дозволяє збільшити продуктивність та знизити втрати продукту. Сушильна башта являє собою циліндричну камеру, корпус якої виготовлений з листової сталі, оцинкованого зсередини і покритого ізоляцією зі скляного волокна товщиною 70 мм, Шар ізоляції з зовнішньої сторони захищений листовою сталлю товщиною 1 мм.

У корпусі башти є двері з оглядовим вікном, в кришці башти – центральний круглий отвір для забору повітря. Для видалення продукту над днищем зі швидкістю 50 об/хв. обертаються два скребки, які отримують рух від приводного механізму з електродвигуном потужністю 1,5 кВт. Продукт через спускний люк потрапляє в шнек , приймає висушений продукт також і з фільтрів; звідси він надходить на сито, представляє собою підвішений в похилому положенні плоский ящик, нижня сторона якого охолоджується повітрям. Сито безперервно отримує зворотно-поступальний рух від шатуна, пов'язаного з електродвигуном потужністю 1 кВт. Продукт, просуваючись по ситу, просіюється і направляється в спускний патрубок для упаковки.

Повітря, що надходить з приміщень до тонкого алюмінієва днища сита, охолоджує продукт і відсмоктується вентилятором. Цей же вентилятор відсмоктує нагріте повітря від парової турбіни і викидає його назовні. Продуктивність вентилятора — 2400 м³/год, напір — 43 мм вод. ст., потужність електродвигуна — 1 кВт. Повітря, що надходить для зневоднення продукту, очищається в фільтрах, які складаються з шести окремих змінних пластин, змочуваних тонким шаром масла для уловлювання пилу повітря. Продуктивність кожного фільтра при 15° дорівнює 7200 м³/год.

Очищене повітря надходить в триступеневий пластинчастий нагрівач-калорифер, де він нагрівається до 140°. Перша ступінь нагрівача живиться свіжим паром тиском 7 кгс/см², друга — відпрацьованим паром турбіни тиском 0,2 кгс/см² і третя — конденсатом першого ступеня [10,11]. Вентилятори забирають до 25% гарячого повітря з калорифера і направляють його через верхній і нижній повітропроводи в зону розпилення під диском і над ним (допомагаючи створенню гвинтоподібного руху аерозолі і висушених частинок). Основна частина гарячого повітря (до 75%) з цього калорифера засмоктується в башту через дві діаметрально протилежні щілини в бічних стінках нижче так званої зони розпилення рідини, при цьому гаряче повітря завихрюється. Аерозольний туман набуває гвинтоподібний обертальний рух по всьому об'єму вежі. Продуктивність вентилятора — 1900 м³/год при 130°, напір — 40 мм вод. ст., потужність електродвигунів — 0,6 кВт [11].

Конструкція сушарок «Ніро-Атомайзер» (рис. 1.7) становить собою установку конвективного сушіння прямоточного типу з вертикальною циліндро-конічною камерою, електричним нагрівачем повітря і верхнім підведенням його в камеру, відцентровим розпилом рідкого продукту і очищенням відпрацьованого повітря в циклоні 4.

Рідкий концентрований продукт з місткості подається насосом-дозатором 1 у відцентровий розпилювач з електричним приводом 2 і

розпилюється в об'ємі камери за допомогою швидко обертального диска 3 з радіальними канавками. Розпилений продукт контактує з закрученим навколо осі сушильної камери нагрітим повітрям і зневоднюється. Сухий продукт осідає на дні конічної частини сушильної камери і виноситься в циклон 4 відпрацьованим повітрям. Очищене повітря виводиться з циклона в атмосферу через верхній патрубок, а сухий продукт збирається в нижній частині в змінну місткість 6 і періодично відбирається. Установка має систему автоматичного регулювання вологості сухого порошку залежно від температури повітря, що виходить із сушильної камери. Ця температура стабілізується автоматичною зміною подачі продукту на розпилювальний диск 3 за допомогою насоса-дозатора 1 змінної продуктивності [4,10,11].

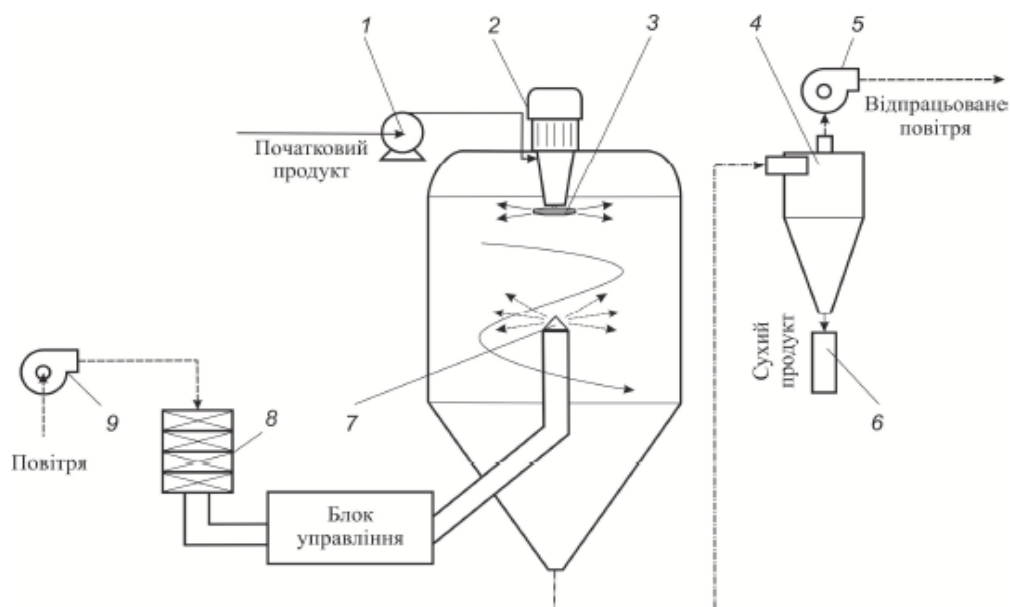


Рис. 1.7 Схема дослідної розпилювальної сушильної установки:
1 – насос-дозатор; 2 – привід розпилювача; 3 – розпилювальний диск;
4 – циклон; 5, 9 – вентилятор; 6 – місткість для продукту; 7 – насадка;
8 – калорифер

Таблиця 1.2

Технічна характеристика

№	Характеристика	Показник
1.	Продуктивність за випареною вологою, кг/год	До 10
2.	Діаметр сушильної камери, мм	1200
3.	Робочий об'єм сушильної камери, м ³	0,9

4.	Температура теплоносія, °C На вході в сушильну камеру На виході з сушильної камери	120 ... 250 80 ... 100
5.	Витрати теплоносія, кг/год	До 250
6.	Встановлена потужність електрообладнання, кВт	20
7.	Відцентровий розпилювач: Потужність приводу, кВт Частота струму генератора, Гц Діаметр диска, мм	1,0 ... 1,5 600 78
8.	Габаритні розміри, мм	1940x1655x2700
9.	Маса, кг	824

У сушарках фірми «Нема» (рис 1.8) продуктивністю по випареній волозі 300 і 500 кг/год розпилювання здійснюється відцентровим диском з турбінним або електричним приводом. Кров (продукти крові) із закритого приймального бака місткістю 1000 дм³, виготовленого з алюмінію, нагнітається відцентровим насосом в алюмінієвий напірний бак місткістю 80 дм³. Насос продуктивністю 1 м³/год оснащений електродвигуном потужністю 1,5 кВт.

Сировина з напірного бака проходить самопливом через автоматичний регулюючий клапан з моторним приводом і реле. Регулюючий пристрій в залежності від температури повітря, що виходить з сушарки повітря контролює кількість надходить у сушарку крові [10,11].

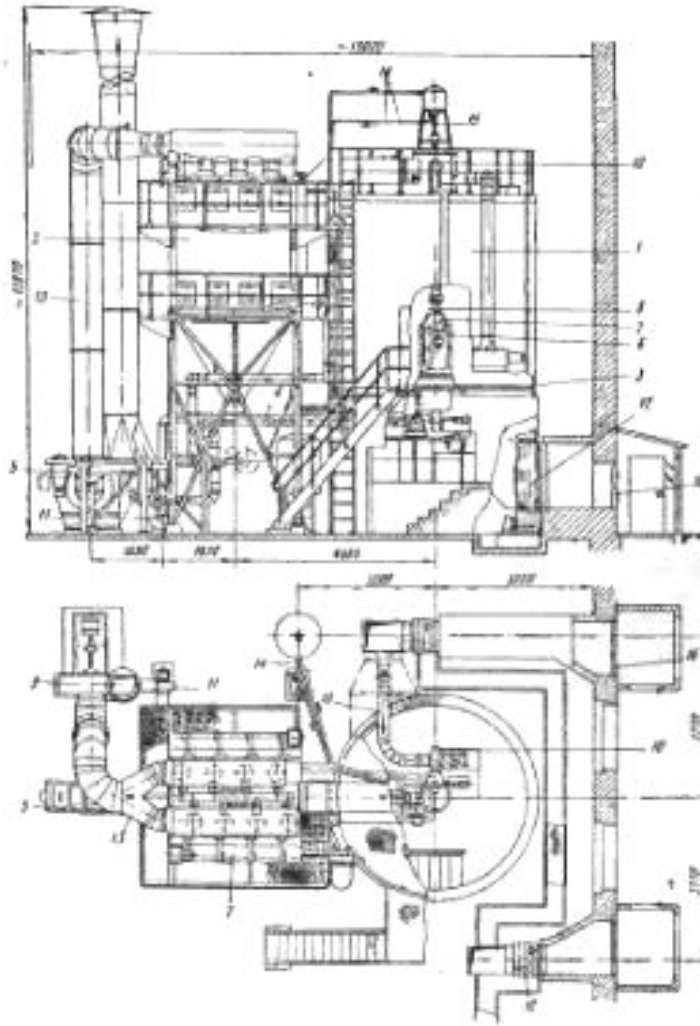


Рис. 1.8 Принципова схема сушарки ЦТР-500 фірми «НЕМА»

- 1 – сушильна башта; 2 – фільтрувальна установка; 3 – скребок;
 4 – транспортна лінія; 5 – охолоджуюче сито; 6 – розпилювальний пристрій;
 7 – редуктор розпилювача з електродвигуном; 8 – розпилювальний диск; 9 –
 головний вентилятор; 10 – вентилятор паралельного повітря;
 11 – вентилятор охолодженого повітря; 12 – повітропідігрівник;
 13 – повітропроводи; 14 – трубопроводи для відведення продукту;
 15 – електрорегулятор; 16 – фільтр свіжого повітря.

З автоматичного вентиля кров (продукти крові) через лійку надходить у порожнину розпилювального диска, діаметр якого дорівнює 360 мм, в тому числі діаметр власне диска 210 мм. Диск, виготовлений з нержавіючої сталі (маса 12 кг), що приводиться в рух від вала парової турбіни (витрата пара 29,8 кг/год) або редуктора. При частоті обертання до 133 с^{-1} кров (продукти крові) розпорошується, утворюючи факел, рівномірно розпилюючись в горизонтальній площині по перерізу камери.

Повітря, що надходить для зневоднення сировини, що очищається у фільтрах. Розпилювальний диск приводиться в дію безпосередньо від вертикального вала турбіни, яка забезпечена регулятором частоти обертання. Ротор турбіни має по колу лопаті шириною 14 мм [10,11,12].

Таблиця 1.3

Технічна характеристика розпилювальної сушарки

ЦТР-500 фірми «НЕМА»

№	Назва	ЦТР-500
1.	Продуктивність по випаруваній волозі, кг/год	500
2.	Кількість продукту, кг/год	1000
3.	Тиск насиченої грючої пари, МПа	0.7-1.0
4.	Витрати пари, кг/год	1550
5.	Витрати води на охолодження турбіни, м³/год	0.9
6.	Потужність електродвигуна, кВт	38
7.	Габаритні розміри, мм	14700x10000x12200
8.	Вага, кг	39640

Розпилювальні сушарки типу СЦР – 4000 (рис 1.9) та СЦР – 6300 (рис 1.10) призначені для сушіння паст, суспензій і розчинів у хімічній, харчовій та інших галузях промисловості. Розпилювання вологого середовища відбувається за допомогою відцентрового розпилювального диска – турбіни, що обертається з великою швидкістю і розпилює суспензію або розчин на дрібні краплини розміром 20 – 100 мкм. Краплі осідають у потоці нагрітого газу і при цьому відбувається їхнє висихання. Висушений продукт у порошкоподібному вигляді виводиться знизу сушарки або з газовим потоком, а потім уловлюється [13,14].

Таблиця 1.4

Порівняльна характеристика сушарок

Тип сушарки	Габаритні розміри, мм	Продуктивність, кг/год	Вологість продукту, %	Тиск, Па	Напіс	енна потужність, кВт	Маса, кг
-------------	-----------------------	------------------------	-----------------------	----------	-------	----------------------	----------

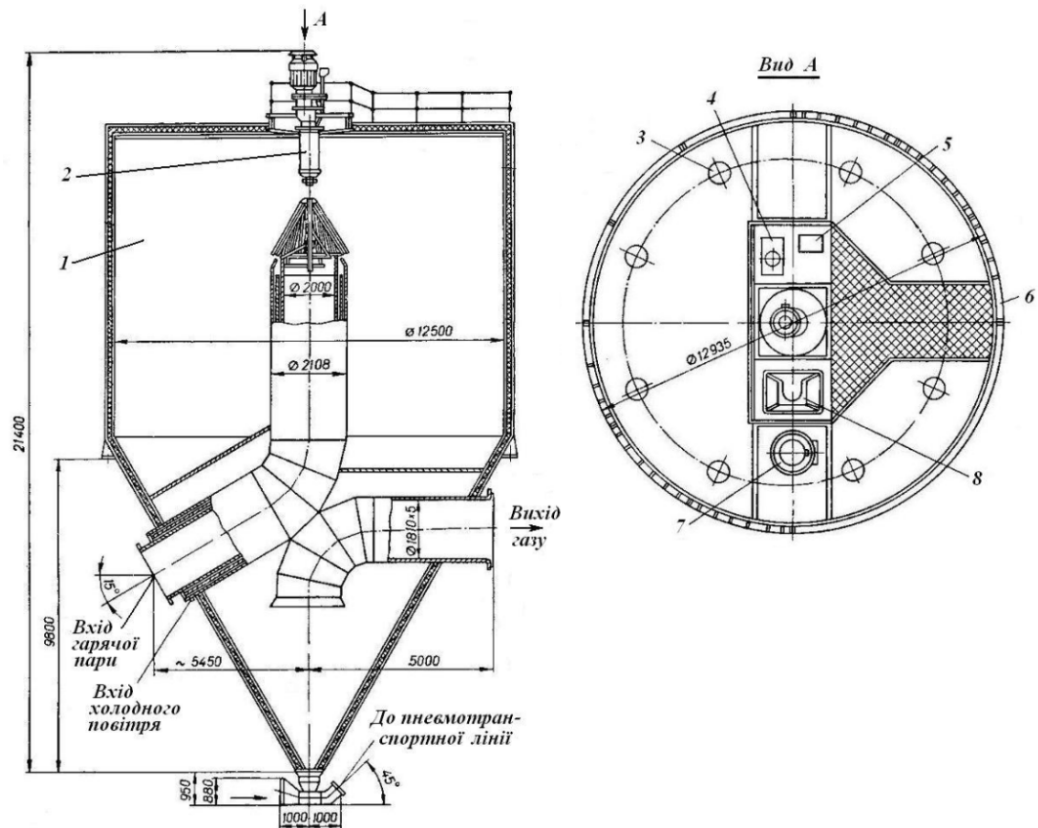


Рис. 1.10 Загальний вигляд сушарки розпилювальної СРЦ -6300
1 – корпус; 2 – розпилювальний механізм; 3 – люк; 4 – масляний фільтр; 5 – щит керування; 6 – дверцята; 7 – клапан запобіжний; 8 – підставка

Патент на корисну модель 154840 РФ. Розпилювальна сушарка (рис. 1.11). Запропоновано раціональний спосіб сушіння розпиленням, що дозволяє здійснювати рівномірну, по висоті сушильної камери, подавання сушильного агента, збільшити час перебування розпорошених частинок матеріалу в камері і виключити контакт частинок матеріалу з внутрішніми елементами конструкції сушарки. Продукт (рис.1.11, потік I) диспергується розпилювачем 7 у циліндричну частину 4 камери 12. Підведення сушильного агента (потіки II) проводиться за патрубкам 6 і 8, які встановлені відповідно до верхньої конічної частини 5 і циліндричної частини 4 камери 12. За рахунок подачі сушильного агента в патрубок 8 по дотичній до окружності внутрішньої поверхні циліндричної частини 4 та наявності в ній прямокутних вертикальних перегородок 11, реалізується рівномірне підведення сушильного агента по висоті робочої камери між перегородками, при цьому

частинки матеріалу, захоплюючися потоками сушильного агента, здійснюють обертальні рухи по низхідній спіралевидній траєкторії відносно осі камери [15,16].

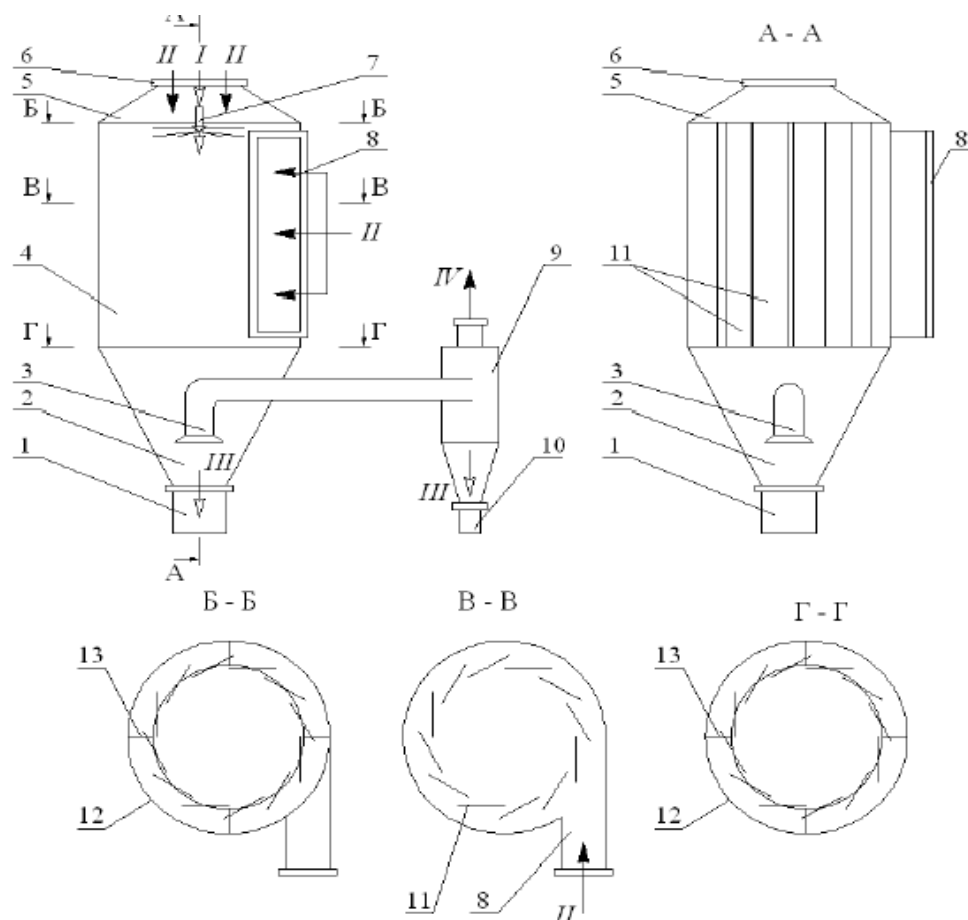


Рис. 1.11 Розпилювальна сушарка

1 - вузол вивантаження сухого продукту; 2 – нижня конічна частина сушильної камери; 3 – система насосів; 4 – циліндрична частина сушильної камери; 5 – верхня частина сушильної камери; 6 – верхній патрубок входу сушильного агента; 7 – розпилювач; 8 – патрубок введення сушильного агента; 9 - циклон; 10 – збірник сухого повітря; 11- вертикальні прямокутні перегородки; 12 – сушильна камера; 13 – кріплення

Перегородки 11 встановлені вертикально з утворенням щілинних зазорів і виконані однаковими по висоті з циліндричною частиною сушильної камери 4 для рівномірного підведення сушильного агента по всій траєкторії руху висушуваного матеріалу в зоні сушки і вирівнювання температури сушильного агента по висоті сушильної камери, в результаті чого досягається збільшення інтенсивності процесу сушіння.

Сушильний агент, проходячи через простір між перегородками 11, поділяється на кілька перехресних потоків, які відштовхують розпорошені частки від поверхні перегородок і, отже, від стінок сушильної камери. Перехресні потоки сушильного агента компенсують відцентрову силу, що діє на частинки в процесі їх спіралеподібного руху. Таким чином, виключається контакт частинок продукту зі стінками сушильної камери і збільшується інтенсивність процесу сушіння. Спіралеподібна траєкторія руху диспергованих частинок визначає більший час контакту матеріалу з сушильним агентом в камері порівняно з традиційним, переважно прямолінійним рухом в сушильних камерах, що дозволяє або зменшити висоту сушильної камери при заданій продуктивності, або збільшити інтенсивність процесу та продуктивність установки [15,16].

1.4 Обґрунтування актуальності дослідження, формулювання мети та завдань роботи

Сушіння розпиленням знаходить широке застосування в різних галузях промисловості, так як виробництво сахарози, синтетичних миючих засобів, сухого молока, сироватки, альбуміну і т.д. є необхідним в повсякденному використанні.

На сьогоднішній день практичною задачею розпилювальної сушарки є наукове обґрунтування процесу зневоднення матеріалів з чіткими вимогами до кінцевого продукту. Розвиток техніки і технології сушіння прагне к інтенсифікації вологовіддачі, що гарантує отримання високоякісного готового продукту [17].

Над питаннями процесу сушіння займались Кавказов ЮЛ., Філоненко Г.К., Федоров І.М., Калясев Ф.Е., Милиович Я.М., Абрамович Г.Н., Белопольський М.С., Ликов М.В. Платовський А.Н., та ін..

Зростання ефективності з точки зору економіки і підвищення працездатності апаратів Дитнерський Ю.И., запропонував наступні шляхи:

- **Підвищення температури сушильного агенту в умовах**

автоматизації і регулювання температури ;

- **Використання високих швидкостей робочого органу;**
- **Пульсація повітряних потоків і вібрації частинок матеріалу;**
- **Закручених потоків;**
- **Застосування електричних і магнітних полей;**
- **Використання перегрітих парів випареної з матеріалу рідини;**
- **Використання вторинних енергетичних і теплових ресурсів.**

При сушінні термолабільних матеріалів висока температура теплоносія призводить до зниження харчової якості готового продукту. Підвищення швидкості призводить до втрати частини матеріалу, через деформацію, і відповідно руйнування частинок і як наслідок отримання готового продукту, що не відповідає стандарту [2,3].

Враховуючи попередні дослідження викладені в дисертаційній роботі Михалева Т.В., [2,3] а також Шутюк В.В. на основі комплексних теоретичних дослідів із застосуванням методів термодинамічного аналізу та основ математичного моделювання проаналізувати швидкість руху частинки в розпилювальному апараті.

Відповідно до поставленої мети розв'язати наступні завдання дослідження:

- **Виконати системний аналіз процесу сушіння продуктів;**
- **Проаналізувати сучасний стан питання дослідження та перспективні напрямки розвитку;**
- **Описати методи визначення параметрів кривої;**
- **Розробити математичну модель визначення швидкості витання частинки та провести розрахунки;**
- **Запропонувати конструктивне рішення інтенсифікації процесу розпилення відцентровим диском;**
- **Провести конструктивний розрахунок.**

Об'єкт дослідження – розпилювальний апарат.

Предмет дослідження – процес сушіння тваринної крові.

Переваги розпилювального апарату:

1. Скорочення часу сушильного процесу, який проходить протягом п'ятнадцяти-тридцяти секунд. При цьому всі корисні речовини продукту зберігаються, і він не втрачає своїх первинних властивостей і вітамінів, не окислюється.

2. Легкість в управлінні сушкою, яка полягає у виборі параметрів на панелі обладнання: розміру часток, залишкової вологості, ваги продукту, температури.

3. Готовність до використання виробленого продукту, який не потребує додаткових засобів обробки, ступінь розчинності продукту дуже висока. Спрощення виробничого процесу, коли не потрібні додаткові інструменти та обладнання для досягнення повної готовності до використання продукту.

5. Відсутність необхідності у великій кількості робочого персоналу. Обладнання виконує об'ємний спектр робіт, не вимагаючи до себе великої уваги, так як процес сушіння повністю автоматизований.

6. Відсутність корозійних процесів на внутрішній поверхні сушильної камери в результаті повного висихання частинок продукту.

7. Наявність великого діапазону температур для сушіння.

8. Можливість обробки складних продуктів липкої структури, які не піддаються подрібненню з допомогою звичайних млинів.

9. Неможливість втрати великої кількості обробленого продукту в разі зупинки двигуна. Продукт рівномірно розподіляється в сушильній камері, яка має надійну герметизацію.

10. Можливість виробництва багатокомпонентного продукту шляхом попереднього змішування необхідних речовин в рідкому вигляді.

11. Безпека обробки передбачає неможливість попадання шкідливих речовин приміщення, виробничого типу.

Недоліки сушіння розпилювального типу:

1. Використання камерних сушарок з великими габаритними розмірами, щоб висушувати продукт при подачі повітря від 100°-150° С.
2. Висока вартість обладнання.
3. Висока доля споживання електричної енергії, що обумовлюється тим, що сушильну камеру необхідно попередньо підігрівати.
4. Невелика маса кінцевого продукту, який набуває порошкоподібний вигляд.
5. При сушінні термолабільних матеріалів висока температура теплоносія призведе до зниження харчової цінності готового продукту.
6. Велика питома витрата сушильного агента.
7. Пряма інтенсифікація процесу сушіння веде до втрат частини матеріалу через деформацію, руйнування частинок в апараті.

Інтенсифікація процесу шляхом зміни швидкості повітря в сушильній камері, швидкості між сушильним агентом і розпилювальним продуктом, призводить до створення нового обладнання. Аналізуючи літературні дані, можливо зробити висновок, що технологія і техніка сушіння продуктів у дрібнодисперсного стані розвивається по шляху переходу в сушіння в щільних шарах до обробки окремих частинок в зваженому шарі [2,3,10].

2. ПРЕДМЕТ, ОБ'ЄКТ, МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Характеристика крові

В'язкість технічної дефібринованої крові підвищується при збільшенні концентрації сухої речовини. В'язкість крові визначаємо віскозиметром Освальда при 20°C, концентрацію висушування в сушильній шафі при 105 °C. Залежності η (с) характеризується більш пологою кривою, в порівнянні з м'ясним бульйоном. Це пояснюється тим, що компактна і глобулярної форми частинок і малою кількістю молекул.

На основі досліджень Андрес У.Ц. [25] при зменшенні розміру частинок в'язкість різко збільшується при умовах постійної концентрації. Особливо це помітно в зоні малих розмірів частинок від 3 до 0,1 мкм, які сумірні з розмірами формених елементів і молекул білка крові і бульйону. Знаючи ступінь асиметрії, розмір, біохімічний склад і молекулярну масу білкових частинок і молекул, їх концентрацію.

В зв'язку з цим за даними досліджень Журавска Н.К., [25,30] отримані дані внесено до таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Значення в'язкості крові

Вид тварини	Відносна в'язкість °Е		Абсолютна в'язкість $\eta \cdot 10^3, \text{н} \cdot \text{сек} / \text{м}^2$	
	Цільна кров	Сироватка	Цільна кров	Сироватка
ВРХ	4,09-5,46	1,50-2,00	30-42	7-12
Свині	5,08-6,76	1,70-2,05	38-52	8,8-12
МРХ	3,32-4,84	1,55-1,90	23-36	7,4-11

Для вибору необхідних режимів роботи обладнання з переробки крові та кровопродуктів і оцінки їх якості необхідно знати фізичні властивості даної сировини.

Густина плазми в середньому становить 1024-1031 кг/м³, а формених елементів — 1090 кг/м³. Густина сироватки крові великої рогатої худоби

залежно від вгодованості коливається в наступних межах: від тварин вищесередньої вгодованості — 1030 кг/м^3 , середньої вгодованості — 1029 , нижче середньої вгодованості — 1028 кг/м^3 . Густина фібрину становить $700\text{--}800 \text{ кг/м}^3$. Важливою характеристикою є відносна в'язкість крові.

В'язкість крові, в основному, залежить від вмісту формених елементів і меншою мірою від концентрації білка в плазмі. Зі збільшенням маси великої рогатої худоби в'язкість сироватки крові зростає.

В'язкість сироватки крові різних тварин при температурі 25°C характеризується наступними даними: великої рогатої худоби — $0,167 \text{ Н} \cdot \text{с/м}^2$, свиней — $0,155 \text{ Н} \cdot \text{с/м}^2$, дрібної рогатої худоби — $0,160 \text{ Н} \cdot \text{с/м}^2$, коней — $0,151 \text{ Н} \cdot \text{с/м}^2$.

Поверхневий натяг сироватки крові великої рогатої, дрібної рогатої худоби, свиней та коней відповідно характеризується наступними даними: $0,568 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}$; $0,544 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}$; $0,526 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}$; $0,557 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}$.

Депресія крові, що представляє собою різницю температури замерзання крові та води, знаходиться в межах від $0,558$ до $0,633^\circ\text{C}$.

Реакція середовища крові забійних тварин слаболужна і характеризується такими значеннями: велика рогата худоба — $\text{pH } 7,4$; дрібна рогата худоба — $7,50$; свині — $7,49$; коні — $7,40$; кролики — $\text{pH } 7,58$.

Питома теплоємність дефібринованої крові дорівнює $3,88 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{K)}$, невіджатої фібрину — $3,69 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{K)}$. Теплопровідність дефібринованої крові при температурі 30°C дорівнює $0,478 \text{ Вт/(м} \cdot \text{K)}$, а температуропровідність при тій же температурі $12,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{с}$.

Електропровідність крові і кровопродуктів в залежності від температури визначають на підставі емпірично знайденого рівняння [25,26,27,28,30]

$$y = A + Bt \pm D (\text{ом} \cdot \text{м})^{-1}, \quad (2.1)$$

де A і B — досвідчені коефіцієнти;

t — температура, $^\circ\text{C}$;

D — середньоквадратичне відхилення дослідних даних.

Наведені значення коефіцієнтів дають можливість визначити електропровідність крові і кровопродуктів для кожного конкретного випадку, що, зокрема, необхідно при розробці обладнання для електроконтактної обробки даних видів сировини.

Коефіцієнт рефракції плазми крові залежить від вмісту в ній сухого залишку, головну частину якого складають білки. Так, коефіцієнт рефракції 1,3464 відповідає вмісту білка в плазмі 6,12%, а 1,3500 — 8,17 %. Застосування методу рефрактометрії дає можливість оперативно контролювати якість плазми в процесі розділення крові на сепараторі.

При нагріванні відбувається коагуляція білків крові, в результаті вони втрачають розчинність і випадають в осад. Температура коагуляції білків специфічна: альбумін коагулює при температурі 67 °С, глобуліни 69-75 °С, фібриноген 56 °С. Повна коагуляція білків крові відбувається при температурі 80 °С [25,26,27,28].

2.2. Методи визначення параметрів крові

Основними методами контролю гігієни крові є бактеріологічні дослідження вмісту мезофільних аеробних і факультативно-аеробних непатогенних мікроорганізмів. Контамінація крові 10⁵-10⁶ і вище в 1 мл свідчить про незадовільних санітарних умов збору і обробки. До харчового альбуміну пред'являють жорсткі вимоги за органолептичними показниками (таблиці 2.2), вмісту вологи і розчинних білкових речовин (таблиці 2.3), а також фізико-хімічними властивостями (таблиці 2.4).

Визначення вмісту вологи

Вологу визначають висушуванням наважки 2-3 г при 100-150 °С до постійного показника висушеної маси (різниця не більше 0,005 г). Зниження маси при висушуванні визначають вміст вологи. Отриманий результат округлюють, показники до 0,5 не враховують, а більше 0,5 округлюють.

Таблиця 2.2

Органолептичні показники альбуміну

Харчовий альбумін		Показник		
Вид	Сорт	Колір	Структура	Запах
світлий	вищий	Світло-жовтий, допускається сірий відтінок	Порошкоподібний продукт без сторонніх домішок	Специфічний, без стороннього або гнилісного запаху
	перший			
темний	вищий	Червоно-коричневий або чорний з червоним відтінком.		
	перший			

Визначення вмісту розчинних білкових речовин

Наважку альбуміну 5 г, зважену з точністю до 0,001 г, розтирають у ступці і повільно додають нагріту до 50°C дистильовану воду. Потім цю однорідну масу переливають в мірну колбу на 250 мл, охолоджують і доводять до мітки, перемішують і фільтрують через вату в центрифужні пробірки і центрифугують протягом однієї години при 1000 об/хв, або 15 хв при 3000 об/хв. Центрифугат фільтрують через паперовий фільтр і піпеткою відміряють по 25 мл у 2 тигля (діаметром 5-6 см, висотою 4-5см), які попередньо прожарюють і зважують. Вміст тиглів обережно випарюють на піщаній бані, висушують 2 години в сушильній шафі при 120°C і зважують. Потім в кожний тигель додають по 15 крапель концентрованої сірчаної кислоти і обзолюють в муфельній печі спочатку при слабкому, потім 2 год при червоному напруженні. Після охолодження тигель зважують і обчислюють вміст розчинних білкових речовин (X, %) у розрахунку на суху речовину за наступною формулою:

$$X = \frac{(a-b) \cdot 250 \cdot 100 \cdot 100}{25 \cdot c \cdot (100 - W)} \quad (2.2)$$

де, **a**- вага сухого залишку, г;

b- ага золи, г;

c- наважка альбуміну, г;

W- вміст води, %.

Вміст розчинних білкових речовин в альбуміні повинно бути не менше 80-85 % маси сухої речовини [25,26,27,28,29,30].

Таблиця 2.3

Вміст води і розчинних білкових речовин в альбуміні

Альбумін		Масова доля, %	
Вид	Сорт	Води не більше	Розчинних білкових речовин (у перерахунку на суху речовину) не менше
Світлий	Вищий	10	85
	Перший	10	80
Темний	Вищий	9	86
	Перший	10	76

Таблиця 2.4

Фізико-хімічні властивості альбуміну

Показник	Сорт	
	Вищий	Перший
Масова доля повареної солі, %	Для консервованих продуктів не більше 3-4	
Температура, °C	Для охолоджених продуктів – не вище 4, Для заморожених – не вище -8	
Наявність патогенних і умовно патогенних мікроорганізмів	Не допускається	
Наявність сапрофітних мікроорганізмів, не більше (млн./г.)	0,3	1,0

2.3. Опис розпилювального апарату

Сушильний апарат складається з вертикальної башти, яка має конічне дно, ряд циклонів, допоміжних пристроїв. Внутрішня поверхня сушильної башти облицьована нержавіючою сталлю. Теплоізоляція виконана з мінеральної вати, ззовні покрита листовим алюмінієм. У центрі сушильної башти змонтовані привід та дисковий розпилювач.

Повітря подається нагнітаючим вентилятором високого тиску. Після проходження калорифера, повітря нагрівається до температури 140°C і зосереджено подається в корінь факелу розпилювання. При цьому в розпилювачі потік повітря піддається закручуванню в напрямку руху частинок розпилюючого продукту. Після втрати частинками продукту високої початкової швидкості, вони разом з потоком повітря рухаються по спіралевидній траєкторії. Маючи температуру 60 – 70 °C спрацьоване повітря з найбільш дрібними фракціями кров'яного порошку через спеціальний патрубок виводиться з сушильної башти в батарею циклонів для очищення. Далі повітря відсмоктується вентилятором. Висушений кров'яний порошок по конічному дну сушильної башти зсипається у лоток, з якого подається на пневмотранспортну лінію [23,24,32,33,34].

Пневмотранспортування сухого кров'яного порошку здійснюється повітрям, яке збирається безпосередньо з цеху додатковим вентилятором. Перед тим, як поступити на пневмотранспортну лінію, повітря очищується у фільтрі зі змінними елементами.

У процесі пневмотранспортування суха кров охолоджується до температури, яка на 10...15 °C вища за температуру повітря, яке всмоктується. На пневмотранспортну лінію також потрапляє порошок з батареї циклонів. Суха кров поступає по пневмотранспортній лінії в розвантажувальний циклон, з якого подається до бункера-накопичувача. Через недостатнє очищення повітря з розвантажувального циклону повертається у повітропровід, по якому відпрацьоване повітря з сушильної башти подається в батарею циклонів. За допомогою шлюзового отвору, встановленого під бункером-накопичувачем, готовий продукт вивантажується з установки, після чого здійснюється його розфасовка у мішки.

Через високу швидкість випаровування вологи температура висушуваного продукту залишається невисокою. Продукт високої якості з гарною розчинність. При цьому способі сушіння можна регулювати

величину частинок, об'ємну масу, кінцеву вологість і температуру порошку. За якістю отриманий продукт схожий з продуктами, що отриманні сублимаційним сушінням, але їх вартість на 25-30% нижче.

Завдяки високій дисперсності матеріалу та розвинутій поверхні контакту, сушка відбувається дуже швидко. За даними М.Є. Лур'є, тривалість сушки у розпилювальних сушарках при прямому потоці матеріалу та сушильного агента становить 4,3 с, при протитоку 2,4 с. загальний час перебування часток у сушильній камері становить 15 – 20 с.

Основною характеристикою розпилювальних сушильних апаратів – кількість води, випареної в 1 м³ сушильної камери за 1 г, тобто напруження об'єму сушарки по волозі А [12, 23,24,32,33,34].

У даній роботі розглядається розпилювальний апарат, що представляє собою циліндрично-конічну ємність. Нижня частина апарату має форму зрізаного конуса, який розширюється до верху для зсипання висушеної речовини до розвантажувального пристрою. Верхня частина апарата має циліндричну форму постійного діаметру, де і відбувається основна частина процесу сушки: розпилювання рідини на дрібні краплини, їх контакт з сушильним агентом та рух по заданій траєкторії висушених часточок до нижньої частини башти.

До нижньої частини підводяться трубопроводи для сушильного та спрацьованого агента. У верхній частині корпусу з метою техніки безпеки передбачені фланцеві отвори для кріплення патрубків запобіжних клапанів. Подача та розпилювання рідини здійснюється за допомогою відцентрового механізму з розпилюючим диском. Рідина, попадаючи в розпилювальний диск набуває відцентрового прискорення і вилітає через отвори диску подрібнюючись при цьому на краплини.

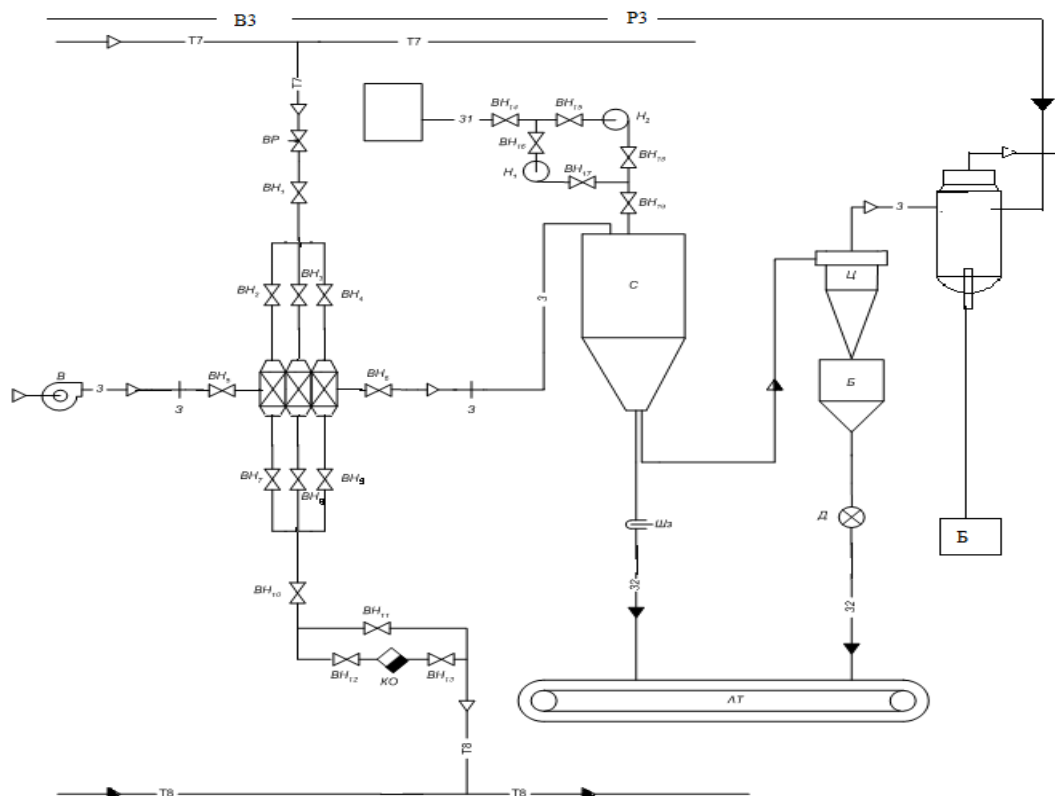


Рис 2.1. Технологічна схема апарату

Для огляду та обслуговування передбачені люки в нижній частині циліндрично-конічної ємкості. Для зменшення теплових витрат і виконання вимог техніки безпеки, поверхню апарату та трубопроводів, що підводять та відводять теплоносії, покривають тепловою ізоляцією. Апарат для сушки входить у технологічні схеми для виробництва медичних препаратів, кормів (кров'яне борошно), технічної продукції (технічний альбумін) [30,32,33].

2.3 Методи моделювання

Для реалізації мети та завдань даної роботи необхідно використовувати такі методи моделювання:

- Система тривимірного моделювання КОМПАС-3D ;
- Програма FlowVision.

КОМПАС-3D — система тривимірного проектування, що стала стандартом для тисяч підприємств, завдяки поєднанню простоти освоєння і легкості роботи з потужними функціональними можливостями

твердотільного і поверхневого моделювання. Ключовою особливістю продукту є використання власного математичного ядра C3D і параметричних технологій, розроблених фахівцями АСКОН. КОМПАС-3D забезпечує підтримку найбільш поширених форматів 3D-моделей (STEP, ACIS, IGES, DWG, DXF), що дозволяє організовувати ефективний обмін даними з суміжними організаціями і замовниками, використовують будь-які CAD / CAM / CAE-системи в роботі.

Проектування машинобудівних і приладобудівних виробів накладає високі вимоги до використовуваного інструменту. КОМПАС-3D відповідає найсучаснішим вимогам. Можливості системи забезпечують проектування машинобудівних виробів будь-якої складності і відповідно з самими передовими методиками проектування. В системі присутні інструменти для роботи за методом «зверху вниз» або методикою низхідного проектування, а також за вже звичного всім методом «знизу вгору».

FlowVision призначений для моделювання тривимірних течій рідини і газу в технічних і природних об'єктах, а також візуалізація цих течій методами комп'ютерної графіки. Модельовані течії включають стаціонарні і нестаціонарні, стискувані, слабостискні і нестискні потоки рідини і газу. Використання різних моделей турбулентності і адаптивної розрахункової сітки дозволяє моделювати складні рухи рідини, включаючи протяг з сильною закруткою, горінням, течій з вільною поверхнею.

FlowVision заснований на звісно-об'ємному методі розв'язання рівнянь гідродинаміки і використовує прямокутну адаптивну сітку з локальним подрібненням. Для апроксимації криволінійної геометрії з підвищеною точністю FlowVision використовує технологію подсеточного дозволу геометрії. Ця технологія дозволяє імпортувати геометрію з систем САПР і обмінюватися інформацією з системами кінцево-елементного аналізу. Використання цієї технології дозволило вирішити проблему автоматичної генерації сітки — щоб згенерувати сітку, досить задати всього лише кілька

параметрів, після чого сітка автоматично генерується для розрахункової площини, має геометрію будь-якого ступеня складності.

Щоб почати працювати FlowVision необхідно мати систему автоматизації проектування (САПР), в якій ви будете задавати геометрію розрахункової області. Рекомендовані системи: SolidWorks, T-Flex, Unigraphics, Autocad Mechanical Desktop, ProEngineer, Catia, КОМПАС.

З точки зору архітектури FlowVision являє собою інтегрований пакет програмних блоків, що складається з кількох компонентів:

- блок формування інформаційної моделі досліджуваних задач (препроцесор);
- блок розв'язання задач руху рідини і газу (процесор);
- блок, що забезпечує виведення і візуалізацію інформації про досліджуваних завданнях руху рідини і газу на різних етапах розв'язання задачі (постпроцесор).

Процес розрахунку течії рідини включає в себе наступні кроки, які виконуються користувачем:

- **Створення області розрахунку ("геометрії" пристрою) в САПР імпортування її через формати VRML, STL, DEFORM, ABAQUS, ANSYS або NASTRAN в FlowVision (IGES, PARASOLID, VDAFS з допомогою Flow3D Vision);**
- **Завдання математичної моделі;**
- **Завдання граничних умов;**
- **Завдання вихідної розрахункової сітки та критеріїв її адаптації за рішенням і за граничним умовам;**
- **Завдання параметрів методів розрахунку;**
- **Проведення розрахунку (без участі користувача);**
 - Перегляд результатів розрахунку в графічній формі ("візуалізація" результатів розрахунків) та збереження даних в файли;
 - Оцінка точності розрахунків методом збіжності по сітці.

3. РОЗРОБКА НОВИХ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1. Опис математичної моделі

Моделювання розпилювального апарату може бути реалізоване на різних рівнях деталізації (від опису потоку, швидкості реакції і впливу на середовище крапель рідини в загальному потоці енергії і масової витрати сировини загалом на розпилювальну сушарку). Можна розглядати застосування двох типів моделей:

- **Модель обладнання, яка поєднує в собі фактори, що впливають на процес розпилювального сушіння й описує середовище, де відбувається сушіння частинок;**
- **Модель частинок, яка описує, як частинки реагують на сушіння середовищі сушильної камери.**

Комплексність особливо важлива, адже нині розвиток комп'ютерно-інформаційних технологій дає можливість спростити розрахунковий процес і приділити більшу увагу фізичним аспектам моделей. Під час аналізу тепло-масо-перенесення в багатофазних системах математичні моделі можна умовно класифікувати так:

- **Розв'язання системи диференціальних рівнянь перенесення імпульсу, енергії та маси для висушуваного тіла та сушильного агента в спряженій постановці;**
- **Моделі перенесення імпульсу та енергії лише в пористому середовищі. Між фазова взаємодія задається у вигляді відповідних умов спряження (граничних умов) на поверхні поділу «пористе тіло - сушильний агент»;**
- **Інженерні моделі, серед яких найзручнішими є одновимірні моделі.**

З наведеного можна зробити висновок, що у всіх моделях процеси перенесення в продукті та сушильному агенті аналізують окремо, задачу ж

замикають, задаючи граничні умови чи умови спряження на між фазовій поверхні. Очевидно, фізичне підґрунтя мають лише моделі першого класу, моделі ж другого та третього класів мають певну фізичну достовірність лише в тому разі, якщо вони отримані шляхом аналізу та спрощення відповідної моделі першого класу.

В основі всіх гідродинамічних розрахунків дисперсних двофазних потоків лежить другий закон Ньютона [1]. В умовах тепло – і масообміну частинки разом з оточуючим середовищем більш конкретним вхідним динамічним рівнянням є рівняння руху тіла змінної маси.

При складному випадку закрученого потоку суспензії на частинки, що рухаються в обертовому потоці газу, діють наступні сили: відцентрова, гідродинамічного опору, тяжіння, переносна Коріоліса, поперечна Мажуса - Жуковського, підйомна сила Архімеда, а також ряд сил, обумовлених взаємодією частинок зі стінками апарату і сусідніми частинками. з урахуванням припущень, пов'язаних з нехтуванням сил, що діють на частинку. В основу математичної моделі нами покладено рівняння Мещерського для руху краплі змінної маси на основі балансу сил [5, 36, 38, 39, 55, 58]:

$$M \frac{d\bar{V}_q}{dt} + (\bar{V}_q - \bar{V}) \frac{dM}{dt} = \bar{F}_T + \bar{F}_c \quad (3.1)$$

де M – змінна маса частинки, кг;

$\bar{V}_q$ - швидкість частинки, м/с;

$\bar{V}$ - швидкість теплоносія, м/с;

$\bar{F}_T, \bar{F}_c$ – сила тяжіння та сила опору, Н.

Аналіз тепло- і масообміну в прямоточних установках для сушіння продуктів, а також розрахунок критеріїв B_i і B_{id} показують, що в нашому випадку нехтують малим опором внутрішньо дифузійним перенесення тепла і вологи в порівнянні з зовнішньо дифузійним. В зв'язку з цим процес масообміну частинок описують рівнянням:

$$\frac{dM}{d\tau} = -\beta S \Delta X \quad (3.2)$$

де, β – коефіцієнт масовіддачі, м/с; S - площа поверхні частинки, м²; ΔX - рушійна сила процесу сушіння по масовіддачі, кг/кг.

Коефіцієнт масообміну зв'язується з зовнішніх умовами через критеріальні залежності Nu_D . На практиці для розпилювальних сушарок справедливі наступні рівняння [3]:

$$Nu_D = 2 + Re^{0.6} Pr_D^{0.33} \text{ для } U > U_B \quad (3.3)$$

$$Nu_D = 2 + 0,51 Re^{0.52} Pr_D^{0.33} \text{ для } U \leq U_B \quad (3.4)$$

де, Nu_D - критерій Нуссельта дифузійний; Re - критерій Рейнольдса; Pr_D – критерій Прандтля дифузійний; U - відносна швидкість руху частинки, м/с; U_B - швидкість витання, м/с.

На ділянці усталеного руху частинка рухається з постійною швидкістю – швидкістю витання U_B , яку можливо отримати з рівняння (3.1) при умовах $\frac{dV}{d\tau} = 0$. Тоді [5, 36]:

$$U_B = \frac{\sqrt{B^2 + \frac{4g}{a}} - B}{2} \quad (3.5)$$

$$\text{де, } a = \frac{0.3525}{d} \cdot \frac{\rho_r}{\rho_c}; \quad B = 51,0638 \frac{V}{d};$$

g - прискорення вільного падіння, м/с²;

d - діаметр частинки, м;

ρ_r, ρ_c - густина повітря і середовища, кг/м³.

Враховуючи, що $Nu_D = \beta \frac{d}{D}$, можливо визначити

$$\beta = \frac{Nu_D \cdot D}{d}$$

де, D - коефіцієнт дифузії, м²/с.

Теплообмін описують рівнянням:

$$\frac{dQ}{d\tau} = \alpha S \Delta t \quad (3.6)$$

де, α – коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м²К); Δt - рушійна сила процесу, °С.

По аналогії з рекомендаціями масообміну [5, 36]:

$$Nu = 2 + Re^{0.6} Pr^{0.33} \text{ для } U > U_{\text{в}}$$

$$Nu = 2 + 0,51 Re^{0.52} Pr^{0.33} \text{ для } U \leq U_{\text{в}}$$

Силу тяжіння розраховують по формулі:

$$F_{\text{т}} = mg$$

де, m - маса частинки, кг; g - прискорення вільного падіння, м/с².

Сила гідравлічного опору $F_{\text{о}}$ руху частинки розраховується по формулі:

$$F_{\text{о}} = \xi S_{\text{мд}} \rho_{\text{г}} \frac{U^2}{2}$$

де, ξ - коефіцієнт гідравлічного опору; $S_{\text{мд}}$ - переріз частинки, м².

Значення ξ визначається по формулі, запропонованої Кришером [5]:

$$\xi = 0,47 + \frac{24}{Re}$$

Діаметр частинки визначаємо за відповідними формулами або на підставі результатів експериментальних досліджень з вивчення дисперсного складу сухих частинок, проведених автором. Початкова маса частинки:

$$m_{\text{о}} = \rho_{\text{мо}} \pi \frac{d_{3.2}^3}{6}$$

де, $\rho_{\text{мо}}$ – густина матеріалу, кг/м³; $d_{3.2}$ – ефективний діаметр, м.

Тверда частина $G_{\text{чт}}$ в частинці:

$$G_{\text{чт}} = \frac{m_{\text{о}}}{1 + C_{\text{о}}}$$

де, $C_{\text{о}}$ - початковий вологовміст матеріалу, кг/кг сухого повітря.

Кількість частинок N визначається за формулою:

$$N = \frac{G_{\text{о}}}{m_{\text{о}}} = \frac{6G_{\text{о}}}{\rho_{\text{мо}} \pi d_{3.2}^3}$$

де, $G_{\text{о}}$ - масова витрата продукту при сушінні, кг/год.

Маса сухого повітря $L_{\text{чо}}$ на одну частинку:

$$L_{\text{чо}} = \frac{L_{\text{о}}}{N}$$

де, $L_{\text{о}}$ - масова витрата сухого повітря для сушіння, кг/год.

Маса вологого повітря $G_{\text{вчо}}$ на одну частинку:

$$G_{\text{вч0}} = L_{\text{ч0}}(1 + X_0)$$

де, X_0 - початковий вологовміст продукту, кг/кг сухого повітря.

На підставі експериментальних даних про аеродинаміку та кінетику сушіння диспергованих частинок в сушильних камерах нами встановлено, що в розглянутому типі розпилювальних сушарок при зневодненні термолабільних продуктів можна виділити дві зони, які характеризуються різними аеродинамічними ситуаціями.

Перша зона розташовується у верхній частині сушильної камери на початкових ділянках руху частинок, де має місце перехресний струм руху диспергованих частинок і сушильного агента. Дана зона починається в момент сходу частинок з розпилювального диска, а межа цієї зони визначається за рекомендованою нами формулою:

$$r_{\text{пт}} = 1.7r_0 \left(\frac{V_x}{V_0} \right)^{-0.48} \cdot \left(\frac{h_n}{D_0} \right)^{-0.05} \quad \text{при } V_x \rightarrow 0$$

де, $r_{\text{пт}}$ - відстань частинки від вертикальної осі ox в зоні розпилення при перехресному русі, м; r_0 - відстань частинки від вертикальної осі ox в зоні розпилення в початковий момент часу, м; h_n - відстань частинки від даху сушильної камери, м.

Друга зона займає іншу частину сушильної камери, де спостерігається режим ідеального перемішування сушильного агента. Розписавши рівняння (3.1) для проекцій векторів на осі координат x , y і z , а також враховуючи рівняння (3.2), (3.6), вирази для сил, що діють на частинку і закони розподілу вертикальної складової швидкості теплоносія в сушильній камері [36,38,39], отримаємо систему диференціальних рівнянь:

$$M \frac{dV_{\text{чх}}}{d\tau} + (V_{\text{чх}} - V_x) \frac{dM}{d\tau} = -\xi S_{\text{мд}} \rho_{\text{ч}} \frac{U}{2} (V_{\text{чх}} - V_x) + Mg \quad (3.7)$$

$$M \frac{dV_{\text{чы}}}{d\tau} + (V_{\text{чы}} - V_y) \frac{dM}{d\tau} = -\xi S_{\text{мд}} \rho_{\text{ч}} \frac{U}{2} (V_{\text{чы}} - V_y) \quad (3.8)$$

$$M \frac{dV_{\text{чз}}}{d\tau} + (V_{\text{чз}} - V_z) \frac{dM}{d\tau} = -\xi S_{\text{мд}} \rho_{\text{ч}} \frac{U}{2} (V_{\text{чз}} - V_z) \quad (3.9)$$

$$\frac{dx}{d\tau} = V_{\text{чх}} \quad (3.10) \quad \frac{dy}{d\tau} = V_{\text{чы}} \quad (3.10) \quad \frac{dz}{d\tau} = V_{\text{чз}} \quad (3.11)$$

$$\frac{dM}{d\tau} = -\beta S \Delta X \frac{dMr}{d\tau} = -\alpha S \Delta t \quad (3.12)$$

$$\frac{V_x}{V_n} = 0.33 \left(\frac{h_n}{D_n}\right)^{-0.1} \left(\frac{r}{r_n}\right)^{-2.1}, 0.2 \leq \frac{h_n}{D_n} \leq 0.9 \quad (3.13)$$

$$\frac{V_x}{V_n} = 0.37 \left(\frac{h_n}{D_n}\right)^{-1.3} \left(\frac{r}{r_n}\right)^{-2.5}, 0.9 \leq \frac{h_n}{D_n} \leq 1.7 \quad (3.14)$$

$$\frac{V_x}{V_n} = 0.82 \left(\frac{h_n}{D_n}\right)^{-0.5} \left(\frac{r}{r_n}\right)^{-1.6}, 1.7 \leq \frac{h_n}{D_n} \leq 3.2 \quad (3.15)$$

$$\frac{V_x}{V_n} = 0.14 - 0.03 \frac{r}{r_n}, \frac{h_n}{D_n} \geq 3.2 \quad (3.16)$$

Приймаємо значення, що $V_z = 0, V_y = V_x \operatorname{tg} \alpha$, де α - кут між напрямком швидкості і віссю ох. Для вирішення системи диференціальних рівнянь (3.7 – 3.16), а також використовуючи інші залежності, що представлені нижче, в момент часу τ визначимо значення

$$x, y, z, V_{qx}, V_{qy}, V_{qz}, V_x V_y V_z, U, Re, Pr, Nu, Nu_D, V, \Delta M, M, \frac{dM}{d\tau}, \frac{dQ}{d\tau}, t, \theta, C, X, t', X'$$

При вирішенні диференціальних рівнянь використовується покроковий метод розрахунку. За крок прийнято значення $\Delta \tau_i$. Крім того, рішенням підлягає така система диференціальних рівнянь з рівняннями зв'язку, початковими і граничними умовами, характерними для перехресного руху сушильного агента і диспергованих частинок [55]:

$$\frac{dt'}{dX} = - \left[\frac{\sigma}{C_\tau} + C \right] (l_p - l) / (X' - X)$$

$$\frac{dl_p}{dX} = c_c t' - q_c$$

$$\frac{dl}{dX} = \frac{dl_p}{dX} - \left[\frac{(c_\tau + c_c)}{\sigma} \right] \cdot \left(\frac{dt'}{dX} \right) + q_d - q_\tau$$

$$\frac{dC}{dX} = -\sigma$$

$$t = \frac{(l - r_0 X)}{(c_r + X)} X = X_0 + \frac{1}{\sigma} (C_0 - C)$$

$$X' = \left(\frac{R_\tau}{R_n} \right) \cdot \left[\frac{\varphi' \rho_n}{(P - \varphi' \rho_n)} \right]; \quad \varphi' = \frac{\rho_m}{\rho_n}$$

$$\rho_n = \frac{2}{15} \exp \left[18.5916 - \frac{3991.11}{\theta} + 233.84 \right]$$

$$\Delta X = X' - X \quad \Delta t = t - t'$$

$$C_o \leq C \leq C_k, \frac{C}{\tau = \tau_o} = C_o$$

$$\frac{t'}{\tau = \tau_o} = t'_o = \theta_o, \frac{t}{x = x_o} = t_o = const$$

$$\frac{l}{x = x_o} = l_o = c_r t_o + (r_o + C t_o) \cdot X_o$$

де, t' - температура повітряної суміші, °С;

X', X - питомий та робочий вологовміст в сушильному агенті, кг/кг;

σ - питома витрата сухого повітря, кг/кг;

c_r, c_p - питома теплоємність рідкої та твердої фази, Дж/(кг·К);

C_o, C_p, C_k - вологовміст матеріалу початкове, робоче, кінцеве, кг/кг;

I, I_p – поточна і рівноважна питома ентальпія, Дж/кг;

q_c - питома теплота зв'язку води з матеріалом, Дж/кг;

q_d - питома теплота витрат, Дж/кг;

q_t - додаткова питома теплота, Дж/кг;

t - температура повітря, °С;

r_o - питома теплота пароутворення, Дж/кг;

R_T, R_n - газова стала, Дж/(кг·К);

φ - відносна вологість повітря;

P – загальний тиск сушильного агента, Па;

ρ_m - тиск пара рідини, Па;

ρ_n - тиск насиченої пари, Па;

ΔX - рушійна сила процесу по масообміну, кг/кг;

Δt - рушійна сила процесу по теплообміну, °С;

τ, τ_o - початковий і поточний момент часу, с;

θ_o - початкова температура матеріалу, °С.

Маса сухого повітря, що припадає на одну частинку на i -му кроці, визначається з наступних міркувань. На i -му кроці при русі частинки

значення поточного радіуса $r_{ч(i)}$ вилучення частки від вертикальної осі ox , змінюється від $r_{ч(i)}$ до $r_{ч(i+1)}$. Якщо уявимо кільце, перпендикулярне вертикальній осі і має малий радіус, рівний $r_{ч(i)}$ а великий радіус рівний $r_{ч(i+1)}$ то через нього за час $\Delta\tau_i$ проходить повітря, що має середнє значення швидкості повітря V_{xi} , яке визначається з рівнянь (3.7 - 3.16).

У зв'язку з цим обсяг вологого повітря, що проходить через дане кільце за час $\Delta\tau$:

$$V_{vi} = V_{xi} \pi (r_{ч(i+1)}^2 - r_{ч(i)}^2) \Delta\tau_i$$

Кількість сухого повітря $L_{чi}$ для однієї частинки на i -му кроці:

$$L_{чi} = \frac{V_{xi} \pi (r_{ч(i+1)}^2 - r_{ч(i)}^2) \Delta\tau_i \rho_{vi}}{N(1 + X_i)}$$

де, ρ_{vi} - густина повітря, кг/м³;

В умовах перехресного потоку на i -му кроці не вся кількість повітря, що припадає на одну частинку, контактує з нею. У реальних аеродинамічних умовах в сушильній камері об'єм повітря $V_{в'ч(i)}$, що контактує з часткою на i -му кроці:

$$V_{в'ч(i)} = U_i \frac{\pi d_{3.2}^2}{4} \Delta\tau_i$$

де, U_i - відносна швидкість обтікання частинки повітрям, м/с.

Тоді кількість сухого повітря $L_{в'ч(i)}$, що контактує з частинкою на i -му кроці в умовах перехресного потоку:

$$L_{в'ч(i)} = \frac{U_i \pi d_{3.2}^2 \Delta\tau_i \rho_{vi}}{4(1 + X)}$$

Відносна швидкість частинок і теплоносія U_i в i -й момент часу визначається з рівняння:

$$U_i = \sqrt{(V_{чxi} - V_{xi})^2 + (V_{чыi} - V_{yi})^2 + (V_{чzi} - V_{zi})^2}$$

Розглянемо процес масообміну.

В якості основного рівняння для розрахунку кількості переданої маси використовуємо рівняння (3.2). Коефіцієнт масообміну пов'язується із

зовнішніми умовами через критеріальні залежності Nu_D . Для розрахунку β використовуємо рівняння (3.3), (3.4) і (3.6). Рушійна сила процесу масообміну визначається з рівняння:

$$\Delta X = X^* - X_o$$

Кількість випареної води із частинки W_i або зміна маси частинки Δm_i на i -му кроці:

$$W_i = \Delta m_i = \frac{dM}{dt} \Delta \tau_i = \beta_i S \Delta X \Delta \tau_i$$

де, S - площа поверхні теплообміну, m^2 ;

При проходженні частинкою i -го кроку її вологовміст зміниться на величину:

$$\Delta C_i = \frac{\Delta m_i}{G_{\text{чт}}}$$

де, $G_{\text{чт}}$ - тверда складова частинки, кг;

Вологовміст частинки в кінці кроку:

$$C_{\text{кі}} = C_{\text{ні}} - \Delta C_i \quad (3.17)$$

Вологовміст повітря, що контактує з частинкою на i -му кроці, зміниться на величину:

$$\Delta X_i = \frac{\Delta m_i}{L_{\text{в`ч}}(i)}$$

Вологовміст повітря після контакту з частинкою на i -му кроці:

$$X_{\text{кі}} = X_{\text{ні}} + \Delta X_i$$

Кількість теплоти Q_i , що необхідна для випарення із частинки води W_i :

$$Q_i = W_i r_i = \Delta m_i r_i$$

Значення Q_i можливо представити також іншим рівнянням:

$$Q_i = l_o L_{\text{в`ч}}(i) - l_{ki} L_{\text{в`ч}}(i) = [c_r t_o + (r_o + c t_o) X_o - c_r t_{ki} - (r_o + c t_{ki}) X_{ki}] \cdot L_{\text{в`ч}}(i)$$

Вирішуючи рівняння (56) і (57) отримуємо рівняння для визначення температури повітря після контакту з частинкою на i -му кроці:

$$l_o - \frac{\Delta m_i \tau_i}{L_{B'q(i)}} - r_o X_{ki}$$

$$t_{ki} = \frac{L_{B'q(i)}}{c_r + X_{ki}} = \frac{[c_r t_o + (r_o + c t_o) X_o] - \frac{\Delta m_i \tau_i}{L_{B'q(i)}} - r_o X_{ki}}{c_r + X_{ki}}$$

Маса частинки m_k в кінці ділянки перехресного потоку:

$$m_k = m_o - \Delta m_k$$

Вологовміст частинки визначається рівнянням (3.17) при i -му кроці, що відповідає останньому кроку в перехресному потоці.

Розглянемо процес теплообміну. В якості основного рівняння для розрахунку використовуємо рівняння (3.2). Коефіцієнт теплообміну пов'язаний із зовнішніми умовами через критеріальні залежності Nu (3.2 - 3.6). Рушійна сила процесу визначається по рівнянню:

$$\Delta t = t_o - t_{MT}$$

Зміна маси частинки або кількість випареної води на i -му кроці можна визначити з рівняння:

$$W_i = \Delta m_i = \frac{dM}{d\tau} \Delta \tau_i = \frac{dQ_i}{d\tau} \frac{1}{r_i} \Delta \tau_i = \frac{\alpha_i S \Delta t \Delta \tau_i}{r_i}$$

За аналогією з процесом сушіння, розрахованим на підставі масообміну, значення величин ΔC_i , C_{ki} , ΔX_i , X_{ki} визначаються відповідно за рівняннями. Температуру повітря після контакту з часткою можна визначити по рівнянню. Характеристика параметрів стану частинок і повітря після їх контакту на кордоні перехресного потоку розраховується за поданим вище рівнянням.

Розглянемо тепло - і масообмін у другій зоні. В цій зоні частинки продовжують рухатися по спіралеподібній траєкторії, віддаляючись від центру і рухаючись зверху вниз, а також має місце режим ідеального перемішування сушильного агента. У цій зоні початкові параметри частинок відповідають кінцевим параметрів частинок в зоні перехресного потоку. Рушійна сила масообміну в момент часу τ_i дорівнює:

$$\Delta X_i = X_{2i} - X_{2k} \text{ або } \bar{\Delta X} = \frac{(X_{2o} - X_{2k}) - (X_{2k} - X_{2k})}{\ln \left[\frac{X_{2o} - X_{2k}}{X_{2k} - X_{2k}} \right]}$$

Рушійна сила теплообміну в момент часу τ_i дорівнює:

$$\Delta t_i = t_{2i} - t_{2k} \text{ або } \bar{\Delta t} = \frac{(t_{2o} - t_{2k}) - (t_{2k} - t_{2k})}{\ln \left[\frac{t_{2o} - t_{2k}}{t_{2k} - t_{2k}} \right]}$$

При розрахунку β використовується рівняння (3.4), при розрахунку α – рівняння (3.9). Представлені положення математичної моделі лягли в основу алгоритму розрахунку прямооточних розпилювальних апаратах

Для перевірки адекватності запропонованої математичної моделі проведено розрахунки процесів гідродинаміки та тепло - і масообміну в прямооточній розпилювальній сушарці продуктивністю 1000 кг/год по випареній волозі для наступних умов сушіння:

- температура повітря на вході в апарат t_0 140°C;
- температура повітря на виході з апарату t_k 95°C;
- температура продукту t_n 80°C;
- масова частка вологи продукту на виході w_0 5 %;
- швидкість розпилювального диска – 20000 об/хв
- початкова швидкість частинки V_0 165 м/с;
- мінімальний діаметр частинки d $0,45 \times 10^{-4}$ м;
- максимальний діаметр частинки d $1,35 \times 10^{-4}$ м.

Запропонована математична модель гідродинаміки та тепло - і масообміну диспергованих частинок в прямооточних сушильних апаратах термолабільних продуктів з верхньою подачею сушильного агента в основу факела розпилу справедлива для матеріалів з малим внутрішньо дифузійним опором. Визначення рушійної сили процесу конвективного сушіння ґрунтується на використанні рівняння стану вологого газу в потоці сушильного агента і на поверхні висушуваного матеріалу.

3.2. Розрахунок математичної моделі об'єкт дослідження

Вибір параметра оптимізації та найсуттєвіших факторів. Визначення

границі їх варіювання. Складення рівняння регресії. Розглянемо рівняння швидкості витання частинок (3.5):

$$V_{\text{ВІТ}} = \frac{g \cdot d^2 \cdot (\rho_{\text{ч}} - \rho_{\text{п}})}{18 \cdot \mu}$$

$V_{\text{ВІТ}}$ - швидкість витання частинок, м/с ; g - прискорення вільного падіння, м/с²; d - діаметр частинки, м; $\rho_{\text{м}}$ - густина частинки, кг/м³; $\rho_{\text{п}}$ - густина повітря, кг/м³;

Присвоюємо $V_{\text{ВІТ}} = y$; $\rho_{\text{м}} = x_1$; $\rho_{\text{п}} = x_2$; $d = x_3$;

Таблиця 3.1

Значення параметрів оптимізації

рівні варіювання факторів	X ₁ , ρ _м , кг/м ³	X ₂ , ρ _п , кг/м ³	X ₃ , d, м
верхній рівень (+)	1064	1,128	0,000135
0-рівень X ₀	1057	0,977	0,00090
нижній рівень (-)	1050	0,827	0,00045
крок варіювання Δx	7	0,15	0,00045

Очікувана математико-статистична модель у формі поліноми 1-го степеня має вигляд:

$$y = \beta_0 + \beta_1 \cdot x_1 + \beta_2 \cdot x_2 + \beta_3 \cdot x_3 + \beta_4 \cdot x_1 \cdot x_2 + \beta_5 \cdot x_1 \cdot x_3 + \beta_6 \cdot x_2 \cdot x_3 + \beta_7 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3$$

β_i - коефіцієнт поодиноких і парних ефектів (взаємодії). Нормуємо вихідне очікуване рівняння за залежністю:

$$z_i = \frac{x_i - x_{0i}}{\Delta x}$$

Рівняння після заміни x_i на z_i буде мати вигляд (рівняння регресії):

$$\hat{Y} = b_0 + b_1 \cdot z_1 + b_2 \cdot z_2 + b_3 \cdot z_3 + b_4 \cdot z_1 \cdot z_2 + b_5 \cdot z_1 \cdot z_3 + b_6 \cdot z_2 \cdot z_3 + b_7 \cdot z_1 \cdot z_2 \cdot z_3$$

b_i – оцінки статистичних коефіцієнтів.

Складання матриці та плану експерименту. Для повного N - факторного експерименту потрібно $N = 2^n = 2^3 = 8$. 2 – рівні варіювання.

Плануємо 3 серії дослідів. Маємо таку індексацію:

$i = 1, 2, 3 \rightarrow n=3 \rightarrow$ кількість факторів;

$j = 1, 2 \dots 8 \rightarrow N = 8 \rightarrow$ кількість експериментів;

$l = 1, 2, 3 \rightarrow m = 3 \rightarrow$ кількість серій дослідів.

Таблиця 3.2

Матриця та план 3-х факторного експерименту

№	Z_0	Z_1	Z_2	Z_3	Z_1Z_2	Z_1Z_3	Z_2Z_3	$Z_1Z_2Z_3$
1	+	+	+	+	+	+	+	+
2	+	-	+	+	-	-	+	-
3	+	+	-	+	-	+	-	-
4	+	-	-	+	+	-	-	+
5	+	+	+	-	+	-	-	-
6	+	-	+	-	-	+	-	+
7	+	+	-	-	-	-	+	+
8	+	-	-	-	+	+	+	-

Властивості матриці:

1. Симетричність $\rightarrow \sum z_{ij} = 0$;
2. Нормованість. $\rightarrow \sum z_{ij}^2 = 0$;
3. Ортогональність. $\rightarrow \sum (z_{ij} \cdot z_{kj}) = 0$;

+	+	+
-	+	+
+	-	+
-	-	+
+	+	-
-	+	-
+	-	-
-	-	-

Рис. 3.1. Матриця жорстка конструкція з певними властивостями.

Проводимо розрахунок, дані заносимо у таблицю 3.3.

Таблиця 3.3

Результати вихідного параметру 3-дублів 3-х факторного експерименту

Z ₀	Z ₁	Z ₂	Z ₃	Z ₁ Z ₂	Z ₁ Z ₃	Z ₂ Z ₃	Z ₁ Z ₂ Z ₃	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y
+	+	+	+	+	+	+	+	0,4492	0,4717	0,426776747	0,449238681
+	-	+	+	-	-	+	-	0,4462	0,4685	0,423966025	0,446280027
+	+	-	+	-	+	-	-	0,4493	0,4717	0,426837378	0,449302503
+	-	-	+	+	-	-	+	0,4463	0,4686	0,424026657	0,446343849
+	+	+	-	+	-	-	-	0,0499	0,0524	0,047419639	0,049915409
+	-	+	-	-	+	-	+	0,0492	0,0517	0,046795034	0,04925793
+	+	-	-	-	-	+	+	0,0499	0,0524	0,047433068	0,049929545
+	-	-	-	+	+	+	-	0,0492	0,0517	0,046808463	0,049272066

Перевірка гіпотези 0 на однорідність дисперсії та відтворюваність дослідних даних. Перевіряємо однорідність дисперсії середніх значень по серіях та по дослідах. А за цим перевіряємо відтворюваність.

А) По стовпцях:

$$S_j^2 = S_{ijA}^2 = \frac{\sum_{j=1}^N (y_{ij} - \bar{y}_j)^2}{(m - 1)}$$

$$\begin{aligned}
 & S_{ijmax}^2 \\
 &= (3 - m)^{-1} \\
 & \cdot \left[(0,449238681 - 0,449238681)^2 + (0,446280027 - 0,446280027)^2 + \right. \\
 & \quad (0,449302503 - 0,449302503)^2 + (0,446343849 - 0,446343849)^2 + \\
 & \quad (0,049915409 - 0,049915409)^2 + (0,04925793 - 0,04925793)^2 + \\
 & \quad \left. (0,049929545 - 0,049929545)^2 + (0,049272066 - 0,049272066)^2 \right] \\
 & S_{ijmax}^2 = 1,54074E-3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & S_{ijmax}^2 \\
 &= (3 - m)^{-1} \\
 & \cdot \left[(0,471700615 - 0,449238681)^2 + (0,468594028 - 0,446280027)^2 \right. \\
 & \quad + (0,471767628 - 0,449302503)^2 + (0,468661041 - 0,446343849)^2 \\
 & \quad + (0,052411179 - 0,049915409)^2 + (0,051720827 - 0,04925793)^2 \\
 & \quad \left. + (0,052426022 - 0,049929545)^2 + (0,051735669 - 0,049272066)^2 \right] \\
 & S_{ijmax}^2 = 0,001014894
 \end{aligned}$$

$$S_{ijmax}^2 = (3 - m)^{-1} \cdot \left[\begin{aligned} &(0,426776747 - 0,449238681)^2 + (0,423966025 - 0,446280027)^2 \\ &+ (0,426837378 - 0,449302503)^2 + (0,424026657 - 0,446343849)^2 \\ &+ (0,047419639 - 0,049915409)^2 + (0,046795034 - 0,04925793)^2 \\ &+ (0,047433068 - 0,049929545)^2 + (0,046808463 - 0,049272066)^2 \end{aligned} \right]$$

$$S_{ijmax}^2 = 0,0010149$$

$$S_{ijmax}^2 = 0,0010149 \quad \sum S_{ijmax}^2 = 0,002029789$$

Б) По рядках:

$$S_{ijБmax}^2 = (3 - m)^{-1} \cdot \left[\begin{aligned} &(0,449238681 - 0,449238681)^2 + \\ &(0,471700615 - 0,449238681)^2 + \\ &(0,426776747 - 0,449238681)^2 \end{aligned} \right]$$

$$S_{ijБmax}^2 = 0,000504538$$

$$S_{ijБmax}^2 = (3 - m)^{-1} \cdot \left[\begin{aligned} &(0,446280027 - 0,446280027)^2 + \\ &(0,468594028 - 0,446280027)^2 + \\ &(0,423966025 - 0,446280027)^2 \end{aligned} \right]$$

$$S_{ijБmax}^2 = 0,000497915$$

$$S_{ijБmax}^2 = (3 - m)^{-1} \cdot \left[\begin{aligned} &(0,449302503 - 0,449302503)^2 + \\ &(0,471767628 - 0,449302503)^2 + \\ &(0,426837378 - 0,449302503)^2 \end{aligned} \right]$$

$$S_{ijБmax}^2 = 0,000504682$$

$$S_{ijБmax}^2 = (3 - m)^{-1} \cdot \left[\begin{aligned} &(0,446343849 - 0,446343849)^2 + \\ &(0,468661041 - 0,446343849)^2 + \\ &(0,424026657 - 0,446343849)^2 \end{aligned} \right]$$

$$S_{ijБmax}^2 = 0,000498057$$

$$S_{ijБmax}^2 = (3 - m)^{-1} \cdot \left[\begin{aligned} &(0,049915409 - 0,049915409)^2 + \\ &(0,052411179 - 0,049915409)^2 + \\ &(0,047419639 - 0,049915409)^2 \end{aligned} \right]$$

$$S_{ijБmax}^2 = 6,22887E-06$$

$$S_{ijБmax}^2 = (3 - m)^{-1} \cdot \left[\begin{aligned} &(0,04925793 - 0,04925793)^2 + \\ &(0,051720827 - 0,04925793)^2 + \\ &(0,046795034 - 0,04925793)^2 \end{aligned} \right]$$

$$S_{ij\text{Бmax}}^2 = 6,06586\text{E-}06$$

$$S_{ij\text{Бmax}}^2 = (3 - m)^{-1} \cdot \left[\begin{array}{l} (0,049929545 - 0,049929545)^2 + \\ (0,052426022 - 0,049929545)^2 + \\ (0,047433068 - 0,049929545)^2 \end{array} \right]$$

$$S_{ij\text{Бmax}}^2 = 6,2324\text{E-}06$$

$$S_{ij\text{Бmax}}^2 = (3 - m)^{-1} \cdot \left[\begin{array}{l} (0,049272066 - 0,049272066)^2 + \\ (0,051735669 - 0,049272066)^2 + \\ (0,046808463 - 0,049272066)^2 \end{array} \right]$$

$$S_{ij\text{Бmax}}^2 = 6,06934\text{E-}06$$

$$S_{ij\text{Бmax}}^2 = 0,000497915$$

$$\sum S_{ij\text{max}}^2 = 0,002029789$$

Визначення критерій Кохрена:

$$G_{rA} = \frac{S_{ljA\text{max}}^2}{\sum S_{ljA\text{max}}^2} = \frac{0,0010149}{0,002029789} = 0.5$$

$$G_{rB} = \frac{S_{lj\text{Бmax}}^2}{\sum S_{lj\text{Бmax}}^2} = \frac{0.00497915}{0.002029789} = 0,2453$$

Визначаємо критичне значення критерій Кохрена:

$$G_{kr} = F(f_1, f_2, \alpha)$$

f_1, f_2 - ступені свободи. $f_1 = (m - 1) = (3 - 1) = 2$. m - кількість дублів.

$f_2 = N$, N – кількість дослідів; α - інтервал довіри (0,05).

Критичне значення критерій Кохрена становить – 0,8159 [9, ст. 102]

Гіпотеза підтверджується, коли $Gr < Gkr$

А: $0,5 < 0,8159$ – гіпотеза підтверджується;

Б: $0,2453 < 0,8159$ – гіпотеза підтверджується;

Визначаємо загальну дисперсію (похибку всього експерименту):

$$A, B: S_0 = \frac{\sum S_{ijA}^2}{N} = 0,000253724$$

Визначення та перевірка значимості коефіцієнтів рівняння регресії.

$$b_i = \frac{\sum_1^N (z_i \cdot \bar{y}_j)}{N}$$

$$b_0 = \frac{[(0,449238681) + (0,449238681) + (0,449302503) + (0,446343849)] + [(0,049915409) + (0,04925793) + (0,049929545) + (0,049272066)]}{8}$$

$$b_0 = 0,248692501$$

$$b_1 = \frac{[(0,449238681) - (0,449238681) + (0,449302503) - (0,446343849)] + [(0,049915409) - (0,04925793) + (0,049929545) - (0,049272066)]}{8}$$

$$b_1 = 0,000904033$$

$$b_2 = \frac{[(0,449238681) + (0,449238681) - (0,449302503) - (0,446343849)] + [(0,049915409) + (0,04925793) - (0,049929545) - (0,049272066)]}{8}$$

$$b_2 = -1,94895E-05$$

$$b_3 = \frac{[(0,449238681) + (0,449238681) + (0,449302503) + (0,446343849)] - [(0,049915409) - (0,04925793) - (0,049929545) - (0,049272066)]}{8}$$

$$b_3 = 0,199098764$$

$$b_4 = \frac{[(0,449238681) - (0,449238681) - (0,449302503) + (0,446343849)] + [(0,049915409) - (0,04925793) - (0,049929545) + (0,049272066)]}{8}$$

$$b_4 = 6,93889E-18$$

$$b_5 = \frac{[(0,449238681) - (0,449238681) + (0,449302503) - (0,446343849)] - [(0,049915409) + (0,04925793) - (0,049929545) + (0,049272066)]}{8}$$

$$b_5 = 0,000575294$$

$$b_6 = \frac{[(0,449238681) + (0,449238681) + (0,449302503) - (0,446343849)] - [(0,049915409) - (0,04925793) - (0,049929545) + (0,049272066)]}{8}$$

$$b_6 = -1,24217E-05$$

$$b_7 = \frac{[(0,449238681) - (0,449238681) - (0,449302503) + (0,446343849)] - [(0,049915409) + (0,04925793) + (0,049929545) - (0,049272066)]}{8}$$

$$b_7 = 6,93889E-18$$

Перевірка гіпотези на значимість впливу отриманих коефіцієнтів на функцію за розподілом Стюдента. Визначаємо t_r для всіх b_i :

$$t_{r,bi} = \frac{|b_i|}{S_{bi}}; \rightarrow S_{bi} = \sqrt{S_{bi}^2} \rightarrow S_{bi}^2 = \frac{S_0^2}{N}$$

$$S_{bi}^2 = \frac{0,000253724}{8} = 3,17154E-05$$

$$S_{bi} = \sqrt{S_{bi}^2} = \sqrt{3,17154E-05} = 0,005631647$$

$$t_{r,b0} = \frac{|b_0|}{S_{b0}} = \frac{0.248692501}{0.005631647} = 44.1598185$$

$$t_{r,b1} = \frac{|b_1|}{S_{b1}} = \frac{0.00090433}{0.005631647} = 0.16052733$$

$$t_{r,b2} = \frac{|b_2|}{S_{b2}} = \frac{1.94895 \cdot 10^{-5}}{0.005631647} = 0.00346072$$

$$t_{r,b3} = \frac{|b_3|}{S_{b3}} = \frac{0.199098764}{0.005631647} = 35.35356004$$

$$t_{r,b4} = \frac{|b_4|}{S_{b4}} = \frac{6.93889 \cdot 10^{-18}}{0.005631647} = 1.23213 \cdot 10^{-15}$$

$$t_{r,b5} = \frac{|b_5|}{S_{b5}} = \frac{0.000575294}{0.005631647} = 0.102153758$$

$$t_{r,b6} = \frac{|b_6|}{S_{b6}} = \frac{1.24217 \cdot 10^{-5}}{0.005631647} = 0.00220569$$

$$t_{r,b7} = \frac{|b_7|}{S_{b7}} = \frac{6.93889 \cdot 10^{-18}}{0.005631647} = 1.23213 \cdot 10^{-15}$$

Визначаємо критичне значення розподілу Стюдента. Визначаємо число ступенів вільності

$$f_t = N \cdot (m - 1) = 8 \cdot (3 - 1) = 16$$

m – кількість дублів; N – кількість дослідів; α – інтервал довіри (0,05).

Критичне значення розподілу Стюдента становить – 2,12 [14, ст.. 103]
Коефіцієнт не є значимим, коли $t_r < t_{kr}$, тобто ми його видаляємо з рівняння регресії. З рівняння регресії видаляємо $b_1, b_2, b_4, b_5, b_6, b_7$ тому що

$$t_{r,b1} (0.16052733), t_{r,b2} (0.00346072), t_{r,b4} (1.23213 \cdot 10^{-15}), \\ t_{r,b5} (0.102153758), t_{r,b6} (0.00220569), t_{r,b7} (1.23213 \cdot 10^{-15}) \\ < t_{kr} (2.12)$$

Після видалення не значимих коефіцієнтів рівняння регресії буде мати вигляд

$$\hat{Y} = b_0 + b_3 \cdot z_3$$

$$\hat{Y}_0 = 0.248692501 + 0.199098764 \cdot 1 = 0.44779126$$

$$\hat{Y}_1 = 0.248692501 + 0.199098764 \cdot 1 = 0.44779126$$

$$\hat{Y}_2 = 0.248692501 + 0.199098764 \cdot 1 = 0.44779126$$

$$\hat{Y}_3 = 0.248692501 + 0.199098764 \cdot 1 = 0.44779126$$

$$\hat{Y}_4 = 0.248692501 + 0.199098764 \cdot (-1) = 0.04959374$$

$$\hat{Y}_5 = 0.248692501 + 0.199098764 \cdot (-1) = 0.04959374$$

$$\hat{Y}_6 = 0.248692501 + 0.199098764 \cdot (-1) = 0.04959374$$

$$\hat{Y}_7 = 0.248692501 + 0.199098764 \cdot (-1) = 0.04959374$$

Перевірка рівняння на адекватність за критерієм Фішера.

$$F_p = \frac{Sad^2}{S_0^2}; \rightarrow Sad^2 = \frac{\sum_i^N (\bar{y} - \hat{y})^2}{N - d}$$

S_0^2 - загальна дисперсія; d – кількість значимих коефіцієнтів, що залишилися в рівнянні регресії, після видалення не значимих коефіцієнтів (без парних значень факторів).

Таблиця 3.4

Таблиця результатів

$\bar{y}$	$\hat{y}$	$\bar{y} - \hat{y}$	$(\bar{y} - \hat{y})^2$
0,449238681	0.44779126	0,001447421	$2,09503 \cdot 10^{-6}$
0,446280027	0.44779126	-0,001511233	$2,28383 \cdot 10^{-6}$
0,449302503	0.44779126	0,001511243	$2,28386 \cdot 10^{-6}$
0,446343849	0.44779126	-0,001447411	$2,095 \cdot 10^{-6}$
0,049915409	0.04959374	0,000321669	$1,03471 \cdot 10^{-7}$
0,04925793	0.04959374	-0,00033581	$1,12768 \cdot 10^{-7}$
0,049929545	0.04959374	0,000335805	$1,12765 \cdot 10^{-7}$
0,049272066	0.04959374	-0,000321674	$1,03474 \cdot 10^{-7}$
		Сума	$9,19019 \cdot 10^{-6}$

$$Sad^2 = \frac{\sum_i^N (\bar{y} - \hat{y})^2}{N - d} = \frac{9,19019 \cdot 10^{-6}}{(8 - 2)} = 1,5317 \cdot 10^{-6}$$

$$Fp = \frac{Sad^2}{S_0^2} = \frac{1,5317 \cdot 10^{-6}}{0,000253724} = 0,006036865$$

Визначаємо критичне значення критерію Фішера:

$$Fp_{кр} = F(f_1, f_2, \alpha)$$

f_1, f_2 - число ступенів вільності більшої та меншої дисперсій;

$$f_1 = (N - d) = (8 - 2) = 6$$

$$f_2 = N \cdot (m - 1) = 8 \cdot (3 - 1) = 16$$

Критичне значення критерію Фішера становить – 2,74 [1, ст.104]. У нашому випадку $Fp < Fp_{кр}$ ($0,006036865 < 2,74$) – гіпотеза підтверджується.

Заміна кодованих величин на натуральні

$$z_i = \frac{x_i - x_{i(0)}}{\Delta x_{(0)}}$$

x_i - фактор; $x_{i(0)}$ - 0-рівень і-того фактора; $\Delta x_{(0)}$ - крок варіювання.

Рівняння $\hat{Y} = b_0 + b_3 \cdot z_3$ після заміни буде мати такий вигляд:

$$\hat{Y} = 0.248692501 + 0.199098764 \cdot \frac{x_3 - 0,000090}{0,000045}$$

Спростимо дане рівняння:

$$\hat{Y} = 4424,4x_3 - 0,141271$$

Визначення відносної похибки моделювання:

$$\varepsilon = \frac{|\bar{Y} - Y_r|}{\bar{Y}} \cdot 100$$

$$\bar{Y}_{r1} = 4424,4 \cdot 0,0000135 - 0,141271 = -0,0815416$$

$$\varepsilon_1 = \frac{|\bar{Y}_1 - Y_{r1}|}{\bar{Y}_1} \cdot 100 = \frac{|0,449238681 - 0,44779126|}{0,449238681} \cdot 100 = 0,32\%$$

$$\bar{Y}_{r2} = 4424,4 \cdot 0,0000135 - 0,141271 = -0,0815416$$

$$\varepsilon_2 = \frac{|\bar{Y}_2 - Y_{r2}|}{\bar{Y}_2} \cdot 100 = \frac{|0.446280027 - 0,44779126|}{0.446280027} \cdot 100 = 0,33\%$$

$$\bar{Y}_{r3} = 4424.4 \cdot 0.0000135 - 0.141271 = -0.0815416$$

$$\varepsilon_3 = \frac{|\bar{Y}_3 - Y_{r3}|}{\bar{Y}_3} \cdot 100 = \frac{|0.449302503 - 0,44779126|}{0.449302503} \cdot 100 = 0,33\%$$

$$\bar{Y}_{r4} = 4424.4 \cdot 0.0000135 - 0.141271 = -0.0815416$$

$$\varepsilon_4 = \frac{|\bar{Y}_4 - Y_{r4}|}{\bar{Y}_4} \cdot 100 = \frac{|0.446343849 - 0,44779126|}{0.446343849} \cdot 100 = 0,32\%$$

$$\bar{Y}_{r5} = 4424.4 \cdot 0.000045 - 0.141271 = 0.057827$$

$$\varepsilon_5 = \frac{|\bar{Y}_5 - Y_{r5}|}{\bar{Y}_5} \cdot 100 = \frac{|0.049915409 - 0.04959374|}{0.049915409} \cdot 100 = 0.64\%$$

$$\bar{Y}_{r6} = 4424.4 \cdot 0.000045 - 0.141271 = 0.057827$$

$$\varepsilon_6 = \frac{|\bar{Y}_6 - Y_{r6}|}{\bar{Y}_6} \cdot 100 = \frac{|0.04925793 - 0.04959374|}{0.04925793} \cdot 100 = 0.68\%$$

$$\bar{Y}_{r7} = 4424.4 \cdot 0.000045 - 0.141271 = 0.057827$$

$$\varepsilon_7 = \frac{|\bar{Y}_7 - Y_{r7}|}{\bar{Y}_7} \cdot 100 = \frac{|0.049929545 - 0.04959374|}{0.049929545} \cdot 100 = 0.67\%$$

$$\bar{Y}_{r8} = 4424.4 \cdot 0.0000135 - 0.141271 = 0.057827$$

$$\varepsilon_8 = \frac{|\bar{Y}_8 - Y_{r8}|}{\bar{Y}_8} \cdot 100 = \frac{|0.049272066 - 0.04959374|}{0.049272066} \cdot 100 = 0.65\%$$

$$\varepsilon = \frac{|\sum \bar{Y} - \sum Y_r|}{\sum \bar{Y}} \cdot 100 = \frac{|1.98954001 - 1.98954|}{1.98954001} \cdot 100 = 0.000502\%$$

3.3. Створення геометричної моделі

За допомогою система тривимірного моделювання КОМПАС-3D за заданими розмірами створюємо геометричну модель розпилювального апарату, за такими кроками:

1. Створення початкового ескізу 1 за заданими розмірами.
2. Операція обертання.

3. На діаметрі 1262 мм створюємо новий ескіз 2 діаметром 1000 мм, для того щоб в подальшому створити ескіз 3.
4. Операція видавлювання.
5. Створення ескізу 4, що умовно має спрощену геометрію розпилюючого пристрою.
6. Операція вирізати елемент видавлювання

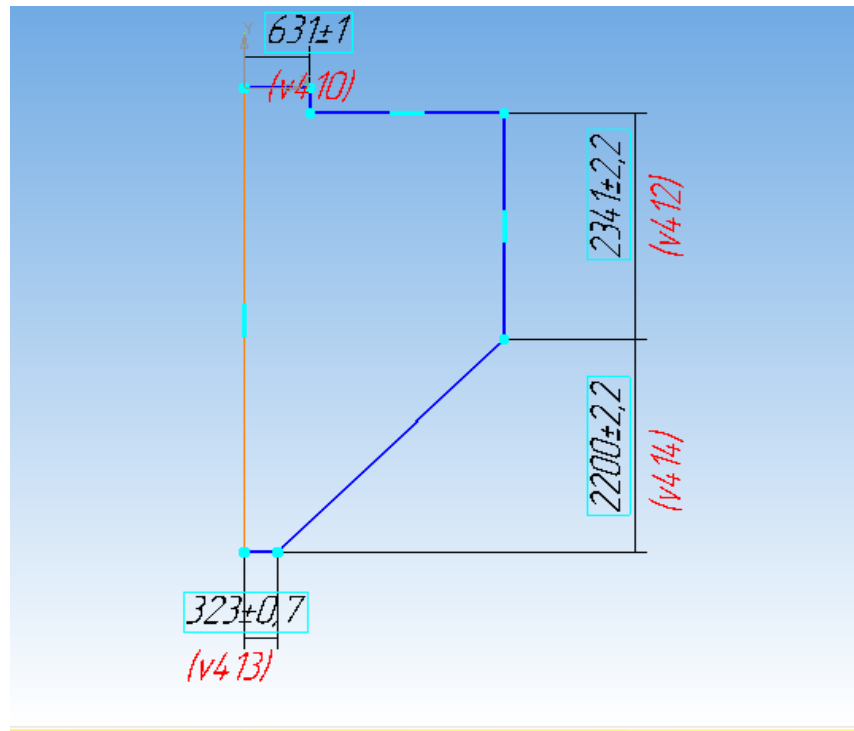


Рис. 3.2 Початковий ескіз 1

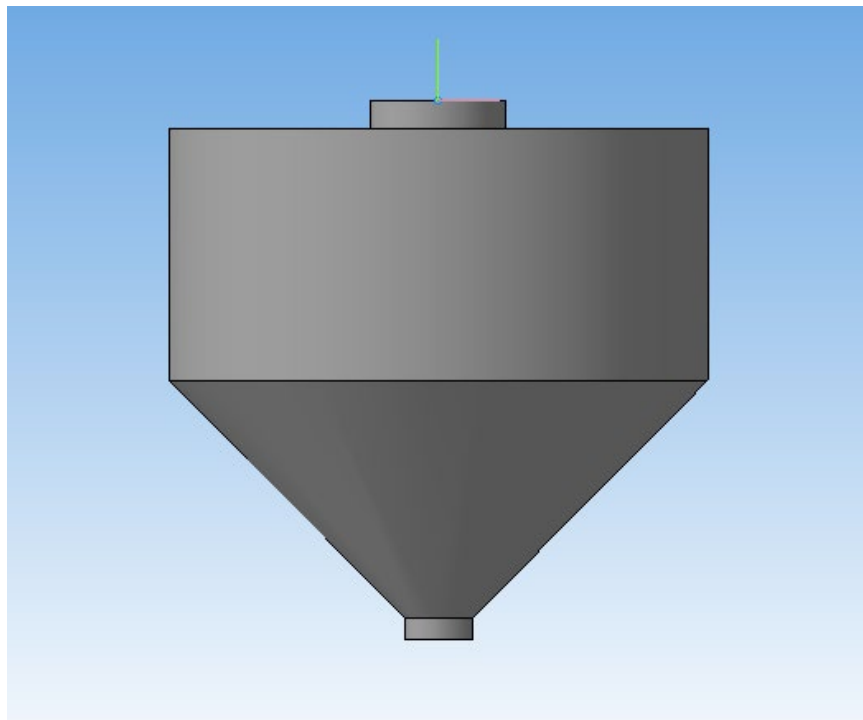


Рис. 3.3 Операція обертання

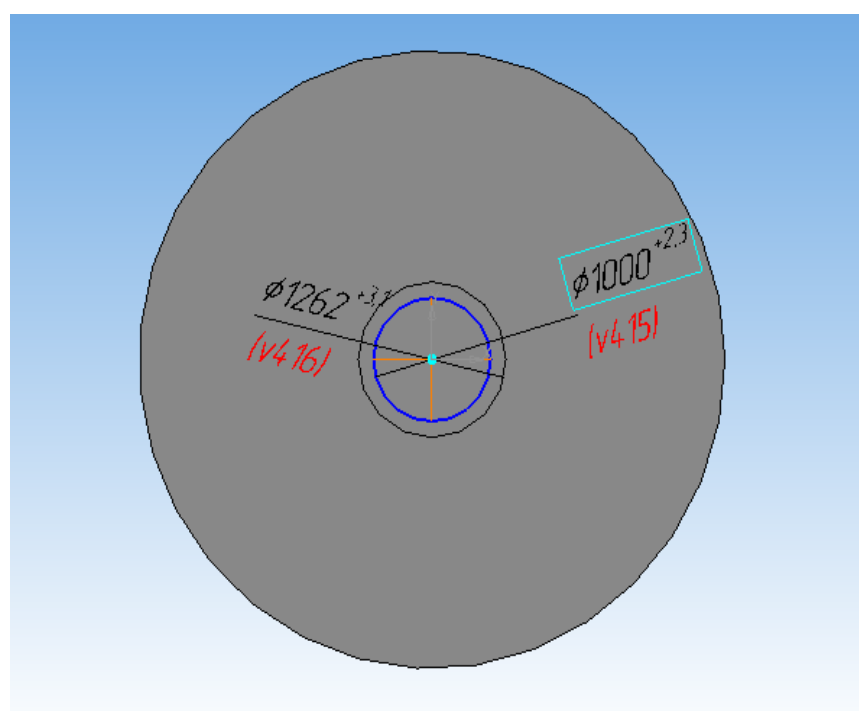


Рис. 3.4 Створення ескізу 2

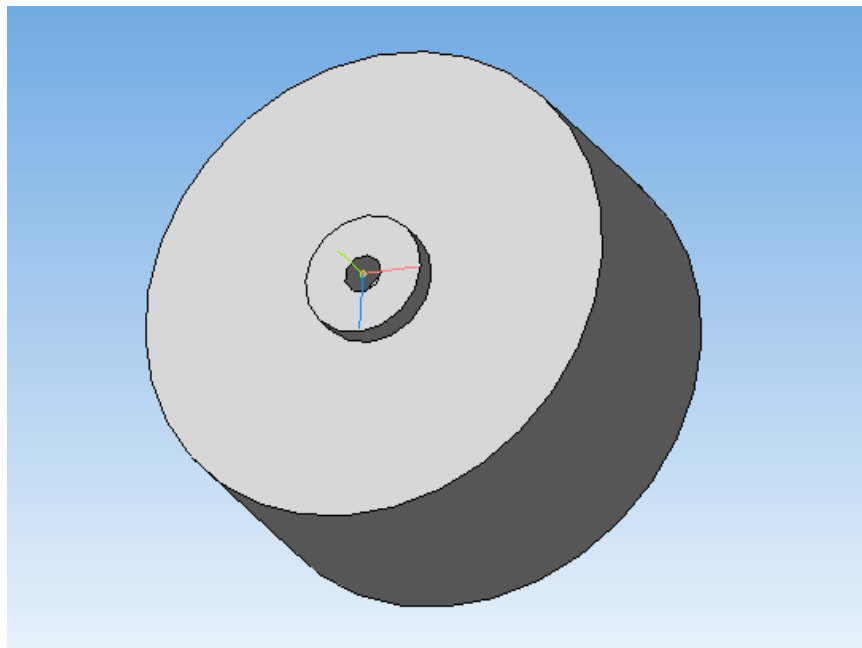


Рис. 3.5 Операція видавлювання

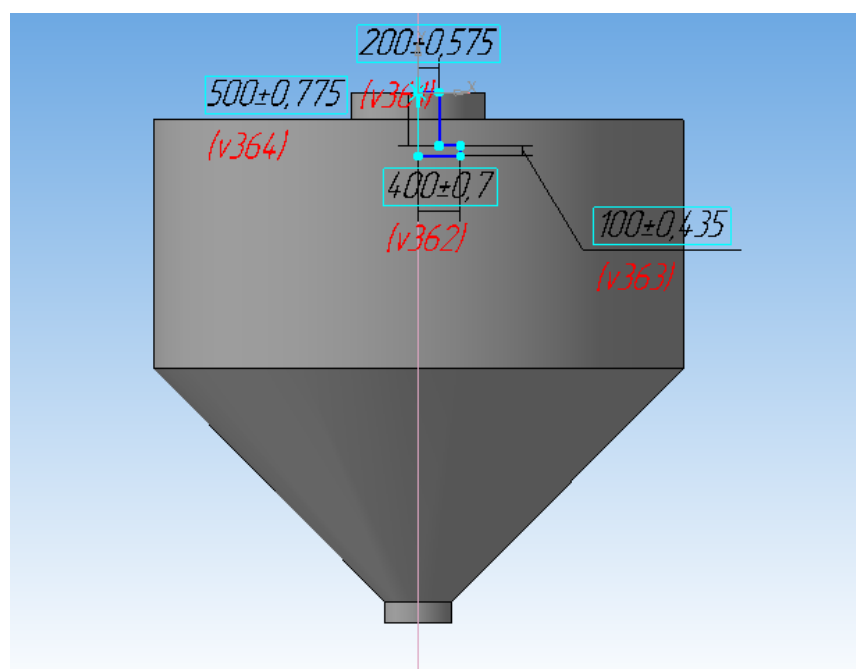


Рис. 3.6 Створення ескізу 3

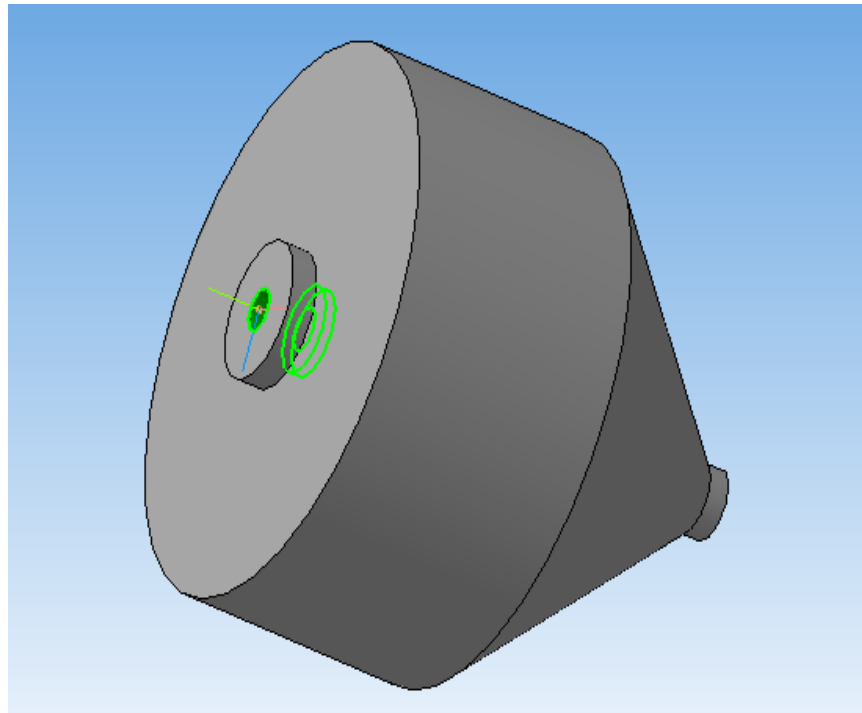


Рис. 3.7 Операція вирізати елемент видавлювання

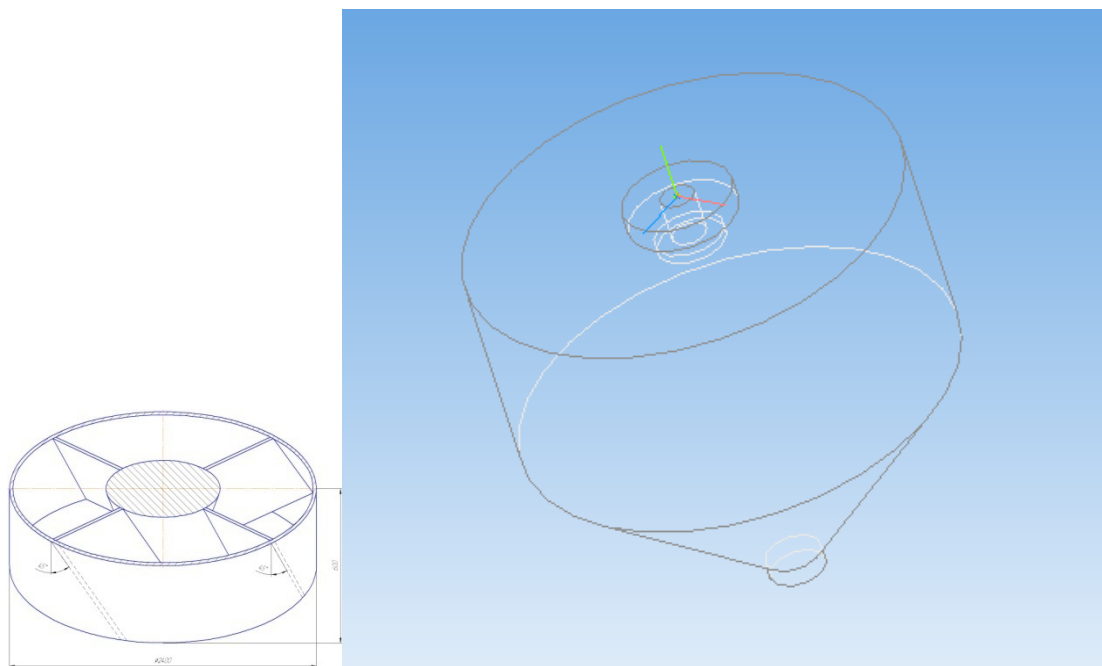


Рис. 3.8 Остаточна геометрична модель

Використовуючи дану геометрію, зберігаємо в форматі .stl , для подальшого моделювання процесу.

3.4 Моделювання процесу сушіння за допомогою програми Flow Vision

Розглянемо стаціонарну двофазну течію в трубі. Несуча фаза – повітря. Дисперсна фаза – краплі крові чотирьох розмірів. Краплі нагріваються і випаровуються. При взаємодії крапель зі стінками утворюються плівки і вторинні (менші) краплі.

В даній задачі вибираємо модель Слабо Стислива Рідина. Розраховуються рівняння Енергія, Концентрація, Швидкість, Турбулентність і Частинки. Це означає, що в газовій фазі вирішується 8 рівнянь: рівняння енергії, рівняння збереження маси для водяної пари, рівняння Нав'є-Стокса, а також рівняння для k і ϵ . Рух модельних частинок описується Лагранжевими рівняннями, які інтегруються через кожні кілька гідродинамічних кроків за часом. Взаємодія між фазами передбачається завжди: частинки впливають на газ через джерела маси, імпульсу і енергії.

З фізичних параметрів в даній задачі необхідно задати наступні: Початкові значення: початковий розподіл температури $T_{ini}=95^{\circ}\text{C}$;

Параметри моделі: сторінка Гідростатика: щільність повітря $\rho=1.29$ кг/м³ для обчислення гідростатичного тиску;

сторінка Масообмін: значення числа Шмідта (визначає коефіцієнт дифузії пари в повітрі):

$$Sc = \frac{\mu}{D \cdot \rho} = \frac{1.82 \cdot 10^{-5}}{1.29 \cdot 2.05 \cdot 10^{-6}} = 6.8822$$

Речовину 0: з бази даних завантажується повітря

Речовина 1: з бази даних завантажується водяний пар.

Речовина частинок: за допомогою властивостей уточнюємо значення теплопровідності, питомої теплоємності, температуропровідності.

Частинки. Випускати кожні N кроків = 100 (спочатку рекомендується задати якесь велике число, наприклад 100000, що буде означати, що солвер частинок відключений – частинки не рекомендується розраховувати до того як сформується протягом несучої фази);

Нестационарність = 0 означає, що вирішується стаціонарна завдання;
Дія сили частинок = 1 означає, що сила, що діє на газ з боку частинок,
враховується.

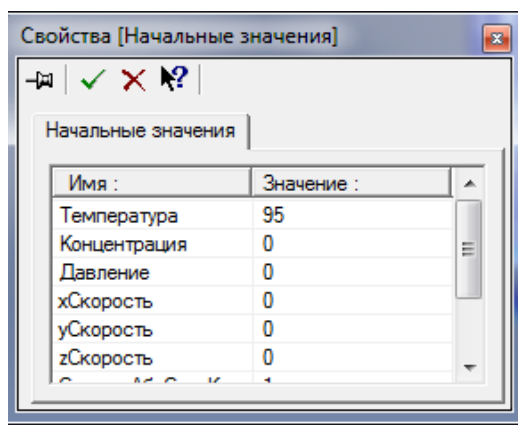


Рис. 3.9 Початкові значення

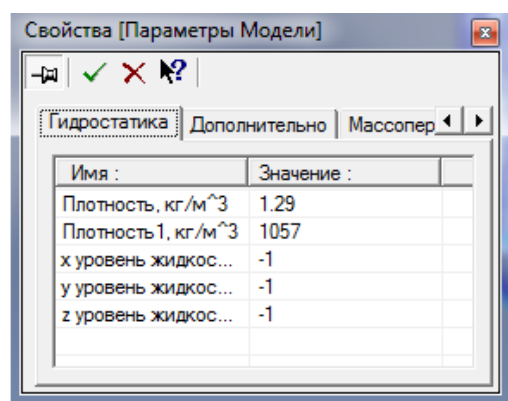


Рис. 3.10 Параметри моделі.

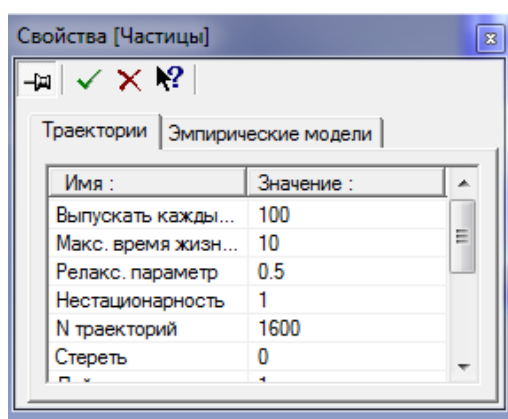


Рис. 3.11 Частилки

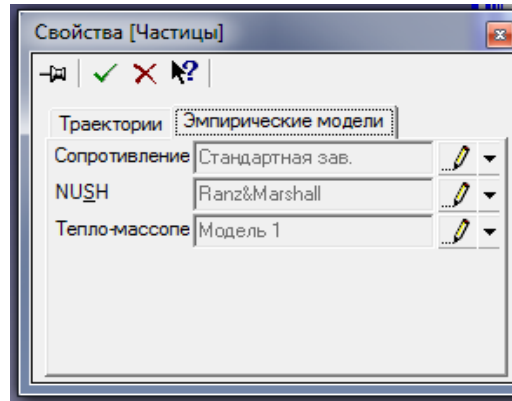


Рис. 3.12 Частинки

Граничні умови.

1. Вхід частинок – умова типу Вхід/Вихід: 'Температура': Значення на стінці ($= 140\text{ }^{\circ}\text{C}$); 'Концентрація': Значення на стінці (0), 'Швидкість': Нормальна масова швидкість ($= 25\text{ кг/м}^2\text{с}$); Частинки: Двофазний вхід: Потік частинок, $\text{кг/с} = 0.5$; Температура частинок $= 25\text{ }^{\circ}\text{C}$; Діаметр частинок 1, $\text{м} = 0.0050$; Масова частка 1 $= 0.6$; Діаметр частинок 2, $\text{м} = 0.0070$; Масова частка 2 $= 0.2$; Діаметр частинок 3, $\text{м} = 0.0100$; Масова частка 3 $= 0.1$; Діаметр частинок 4, $\text{м} = 0.0135$; Масова частка 4 $= 0.1$; Чорнота частинок $= 1$; N стартових точок $= 100$ задає приблизну кількість стартових точок для модельних частинок; N модельних частинок/ $\text{м}^3 = 10000$ задає концентрацію модельних частинок в підвідному каналі. 'ТурбЭнергия' і 'ТурбДиссипация': Значення на стінці (0).

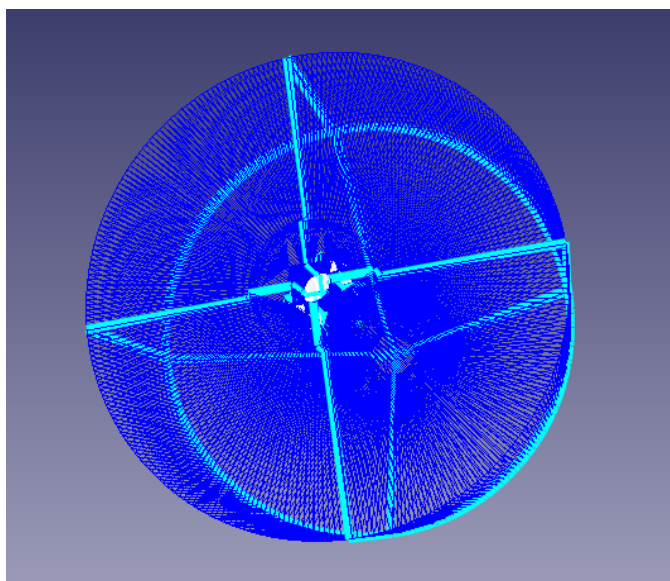


Рис. 3.13 Гранична умова вхід

2. На граничних умовах Стінка – умови типу Стінка.

'Температура': Значення на стінці ($= 95^{\circ}\text{C}$); 'Концентрація': Нульовий потік; 'Швидкість': Стінка, логарифмічний закон ($=0$); 'Частинки': Частинка-стінка: Відбиття $=1$, Плівка $=3$; 'ТурбЕнергия' і 'ТурбДиссипация': Значення в комірці поруч зі стінкою.

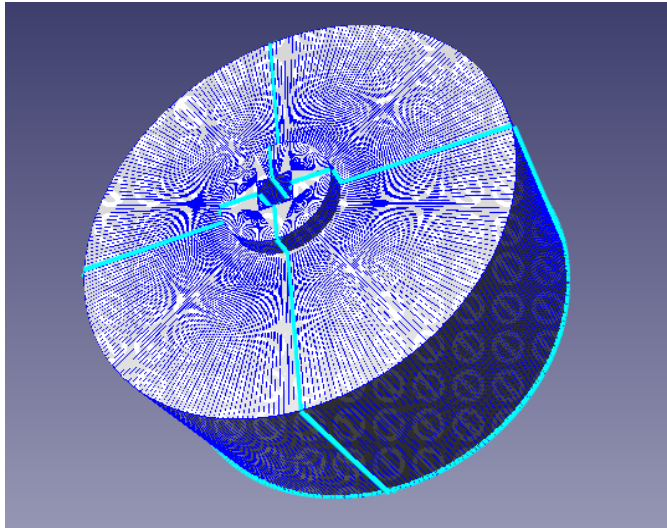


Рис. 3.14 Гранична умова стінка

3. На граничному умови вихід – умова типу Вільний Вихід. 'Температура': Нульовий потік; 'Концентрація': Нульовий потік; 'Швидкість': Нульовий тиск/Вихід; 'Частинки': Частинка вихід, ; 'ТурбЕнергия' і 'ТурбДиссипация': Нульовий потік.

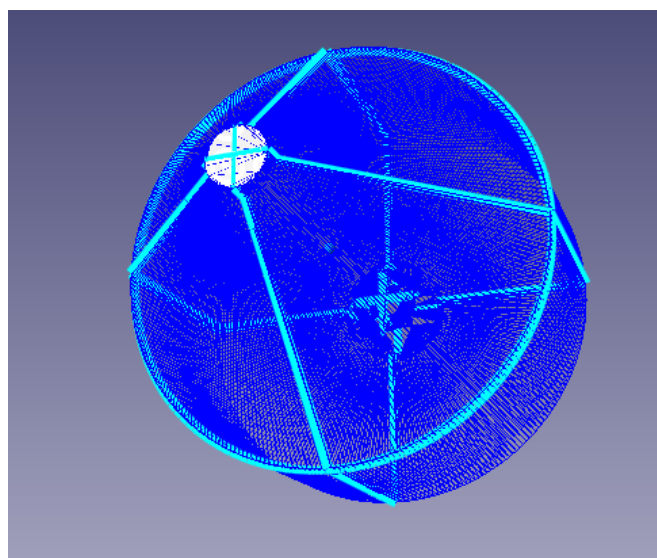


Рис. 3.15 Гранична умова вихід

Створюємо початкову розрахункову сітку, рівномірно, по координатам X, Y, Z з кількістю розрахункових елементів 100255.

Завдання глобальних параметрів здійснюється в папці Загальні параметри. Тут задаються параметри продовження розрахунку, вектор сили тяжіння, час розрахунку і збереження варіанта, крок по часу та опції процесу розрахунку. Завдання кроку по часу здійснюється на сторінці Кроки. В завданнях, де є рух рухомих тіл під дією гідродинамічних сил, рекомендується задавати крок по часу, виходячи з $CFL=10$.

У задачах з вільною конвекцією тиск представляється як різниця повного і гідростатичного тиску. Гідростатичний тиск обчислюється за значеннями щільності, що задається в папці Фізичні параметри і значення вектора гравітації, яке задається на сторінці Гравітація.

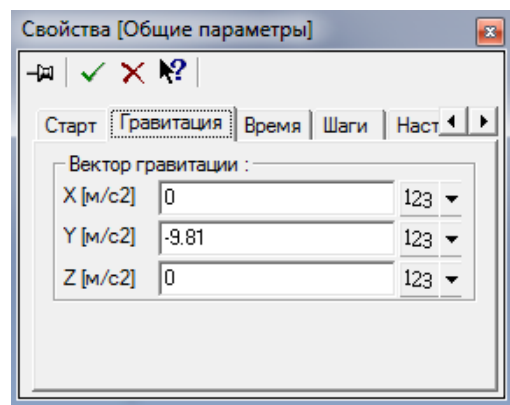


Рис. 3.16 Загальні параметри Сила Тяжіння

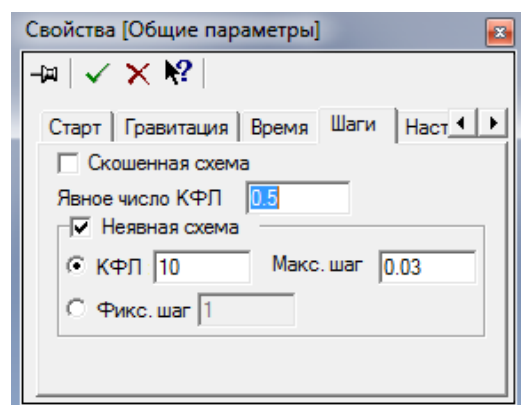


Рис. 3.17 Загальні параметри Кроки

Після 20-30 часових кроків зупиніть розрахунок і змініть значення параметра Запускати кожні N кроків у вікні властивостей Частинок. Далі продовжите розрахунок. З цього моменту траєкторії частинок і джерельні члени за рахунок частинок будуть розраховуватися через кожні 10 кроків за часом.

Таблица		График					
Время	Шаг по вр...	Явный ша...	Число яче...	Число рас...	Итерация		
15.12	0.03	0.03	100255	49824	504		
Модель	Переменн...	Метод	Погрешно...	Итерация	Невязка	Стоп при	
Слабосжим...	Скорость	2-й порядок точности	0.00934724	8	max	0	☒
Слабосжим...	Давление	CGM	0.00998143	1	max	0	☒
Слабосжим...	Концентра...	2-й порядок точности	0	0	max	0	☒
Слабосжим...	Энтальпия	2-й порядок точности	0.000137728	1	max	0	☒
Слабосжим...	ТурбЭнерг...	2-й порядок точности	0.00158134	1	max	0	☒
Слабосжим...	ТурбДисс...	2-й порядок точности	0.00368626	2	max	0	☒
Слабосжим...	Потенциа...	CGM	0.000197784	0	max	0	☒

Рис. 3.18 Дані розрахунку, таблиця

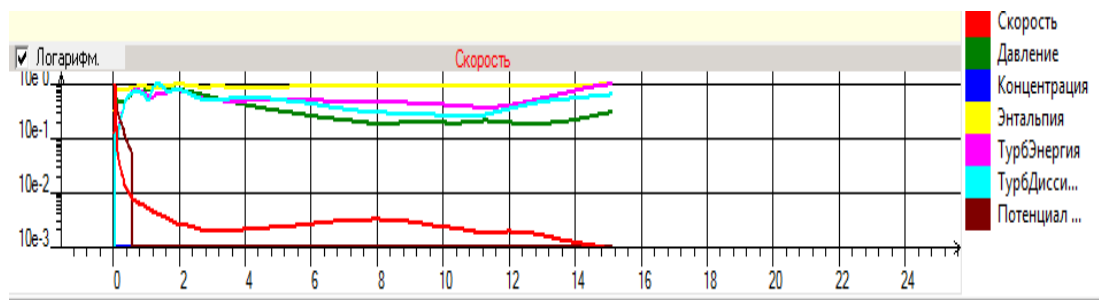


Рис. 3.19 Дані розрахунку, графік

Візуалізація отриманих даних.

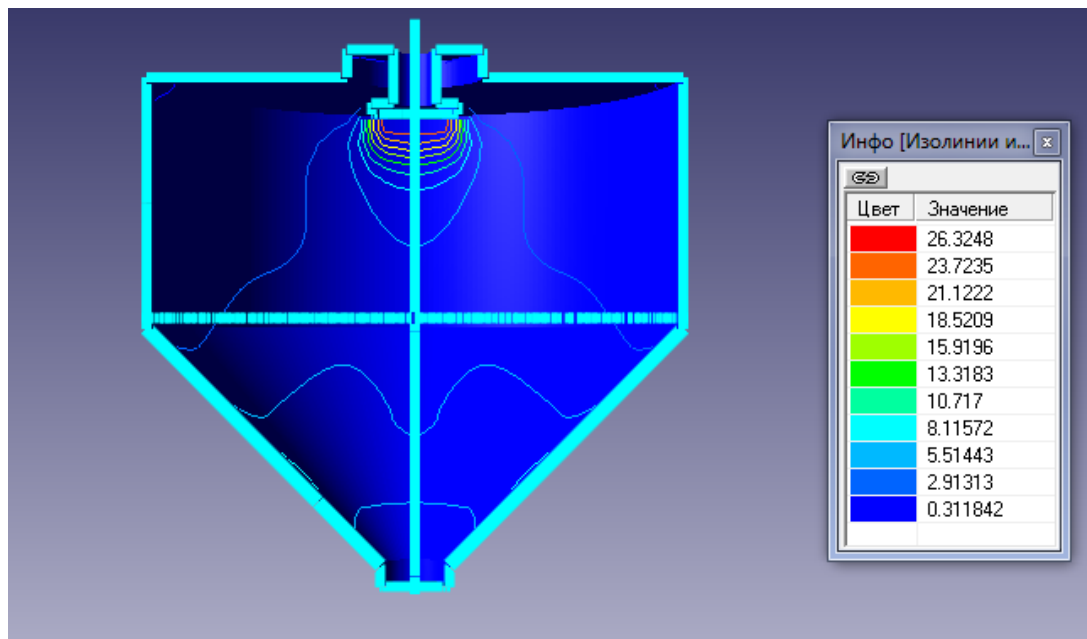


Рис. 3.20 Ізолінії Модшвидкість

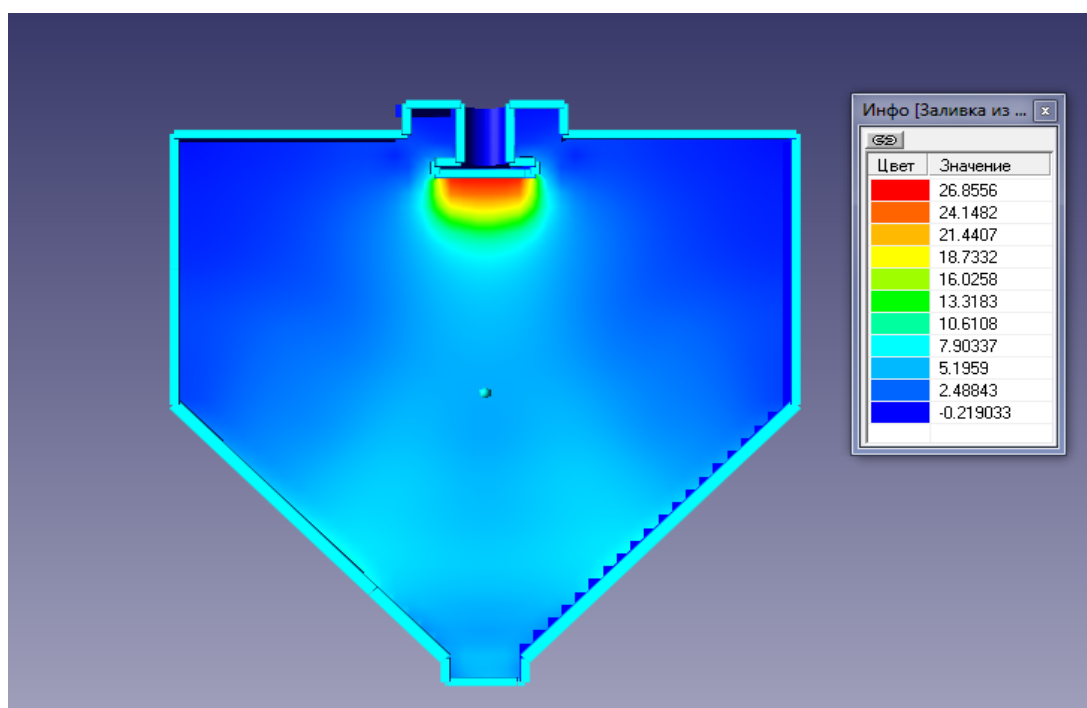


Рис. 3.21 Модшвидкість метод заливка

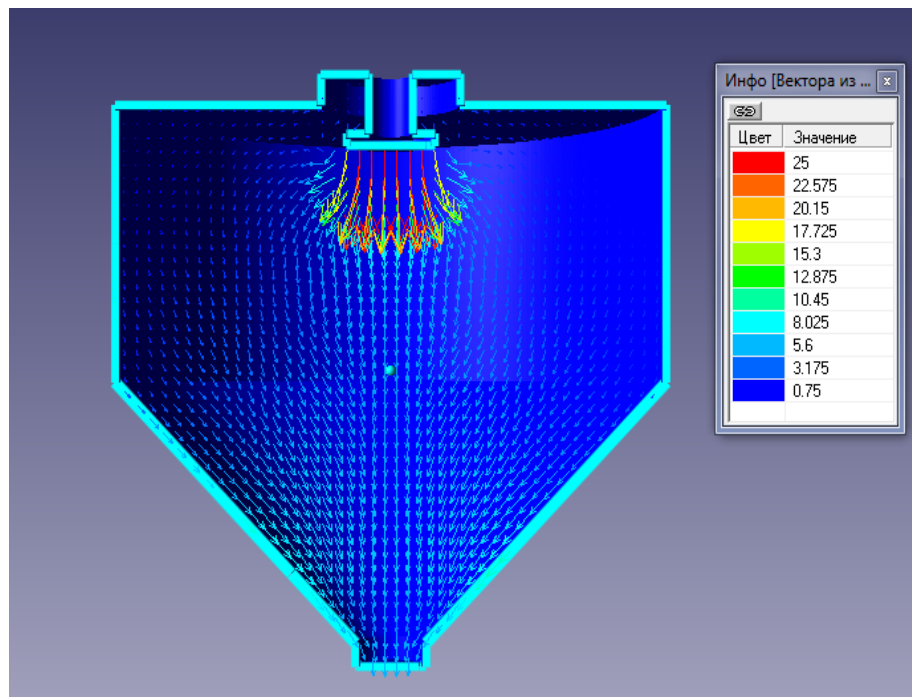


Рис. 3.22 Швидкість, метод вектора

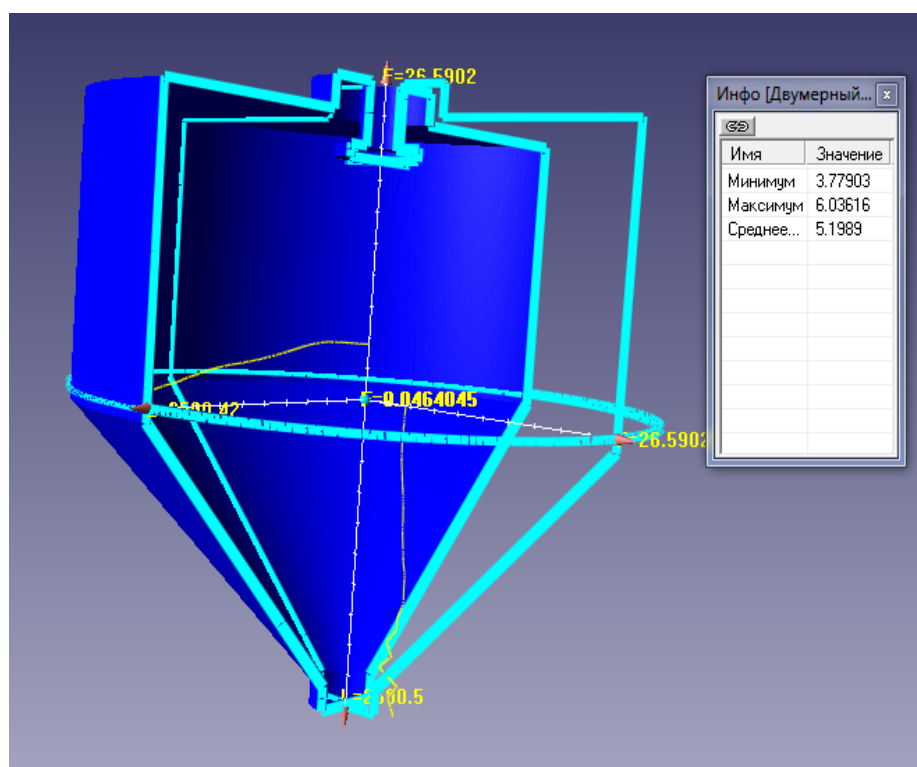


Рис. 3.23 Двухвимірний графік швидкість

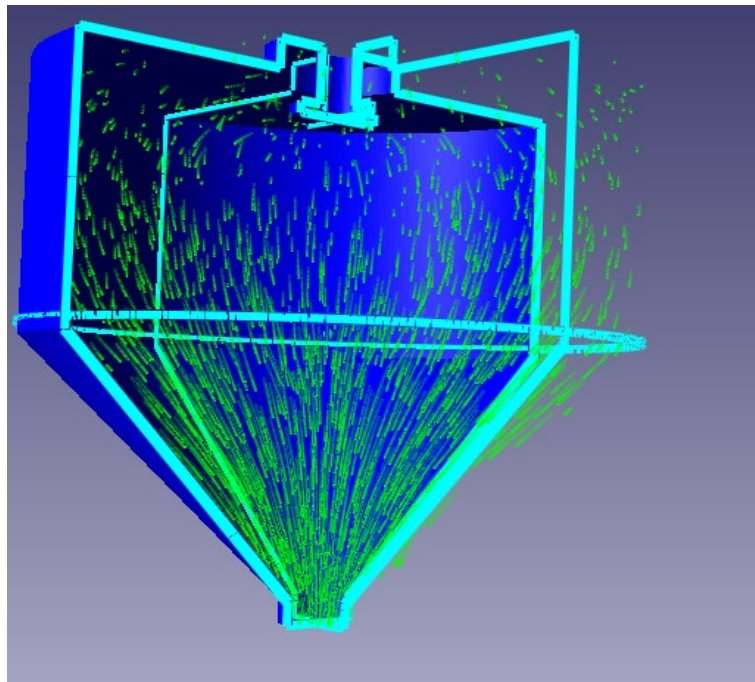


Рис. 3.24 Швидкість, метод спалахи

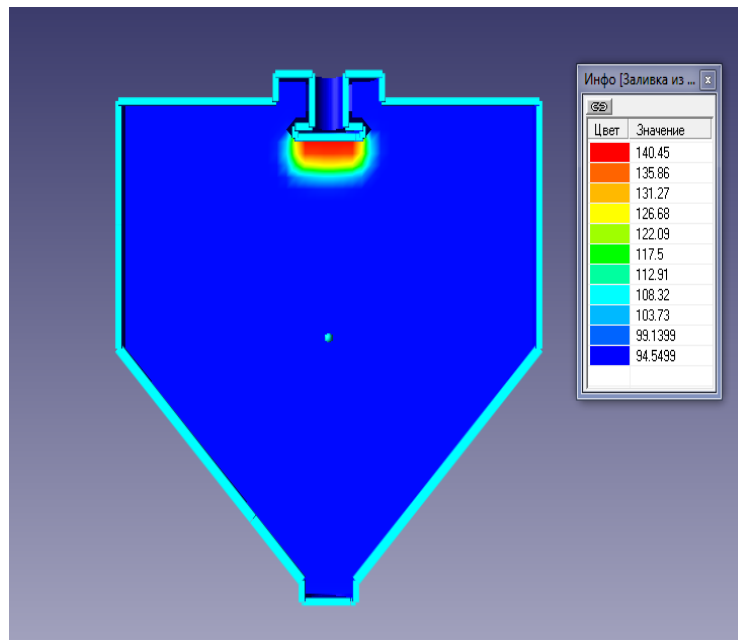


Рис. 3.25 Температура, метод заливка

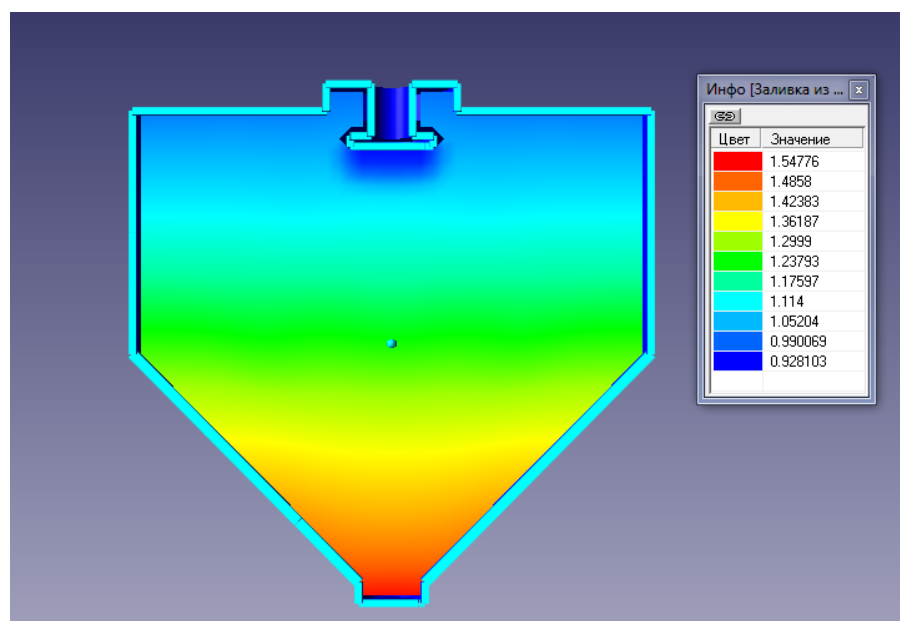


Рис. 3.26 Густина повітря, метод заливка

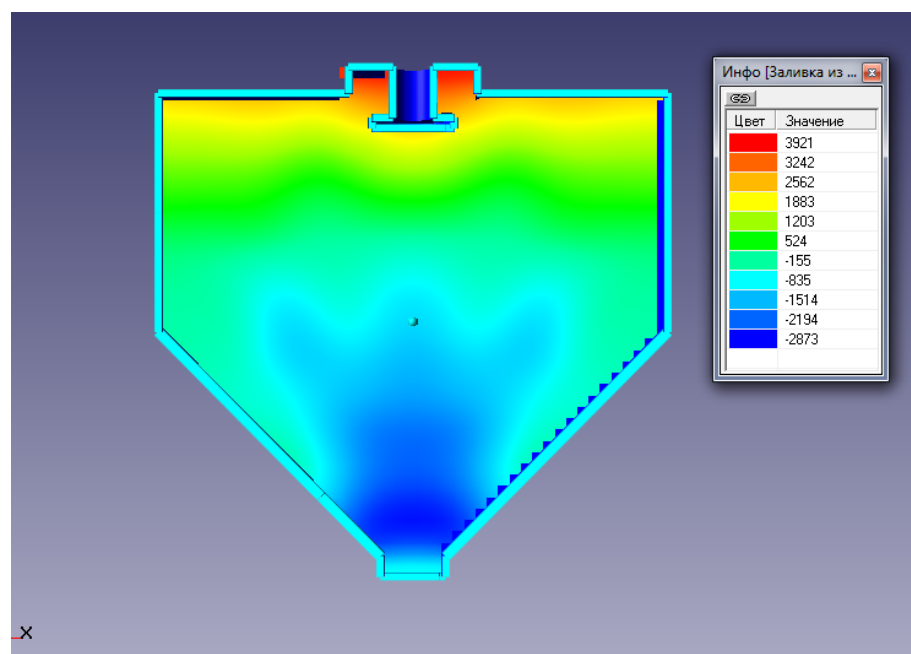


Рис. 3.27 Тиск, метод заливка

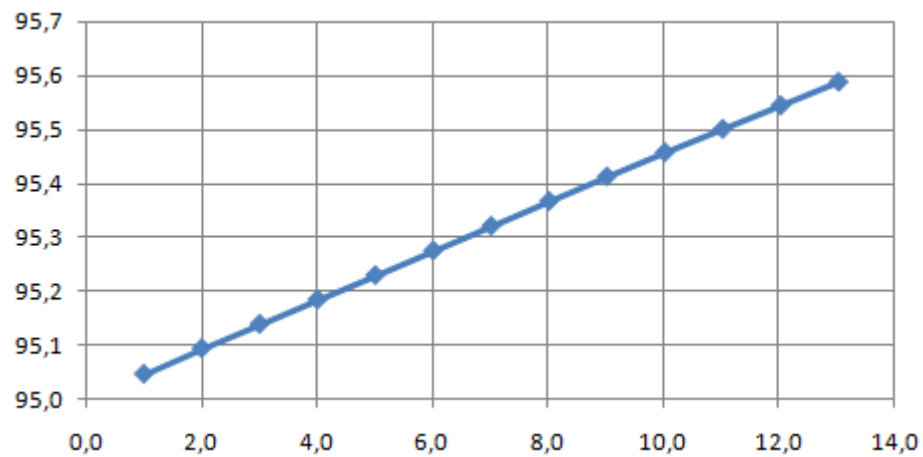


Рис. 3.28 Графік зміни значень температури повітря.

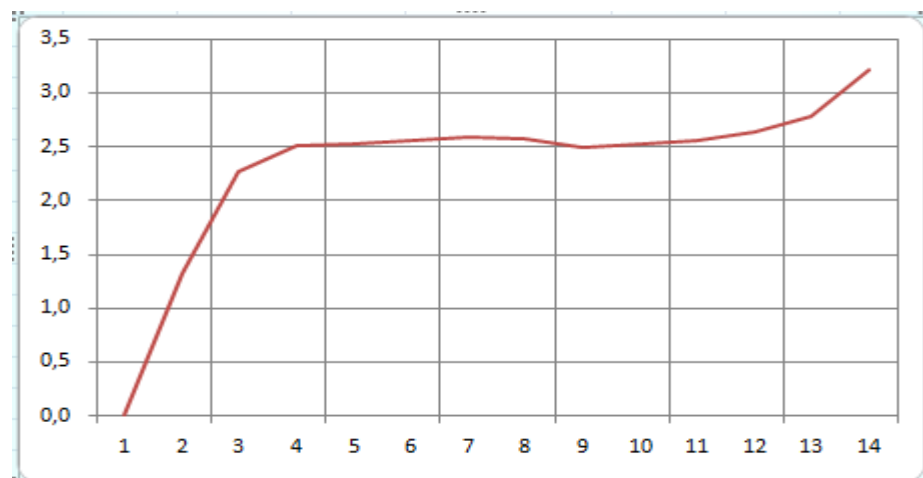


Рис. 3.29 Графік зміни значень швидкості.

Для моделювання висушування крові в розпилювальному сушильному апараті з продуктивністю 358 кг/год по випареній волозі. Температура сушильного агенту становить 140 °С, швидкість подачі повітря в розподільчих пристрій прийнято 1 м/с, оберти диска 12000 об/хв.

При моделюванні прийнято, що повітря в розподільчий пристрій подається вертикально – зверху вниз. Так як моделювання процесу розпилення диском значно ускладнено, запропоновано умовно диск вважати нерухомим, швидкість та розміри крапель на виході з сопел диску прийняти відповідно до розрахунків. Отже початкова швидкість польоту краплі 200 м/с, кінцева швидкість падіння краплі 0.359 м/с, діаметр краплі змінюється в межах 45 мм-135 мм.

На основі проведеного моделювання процесу руху сушильного агенту і часточок продукту в розпилювальному сушильному апараті отримали розподіл швидкостей всередині башти у вигляді ізоліній (рис.3.21), векторів (рис. 3.22), та у вигляді спалахів (рис 3.24).

Проаналізувавши отримані дані можна зробити висновок, що при запропонованій конструкції забезпечують рівномірний розподіл потоків повітря і продукту в циліндричній частині башти сушильного апарату.

Найбільш високі значення температури спостерігаються у верхній частині апарату, куди подається гарячий сушильний агент. При контакті з продуктом і розподілення по об'єму апарату температура повітря знижується.

На рис. 3.26 показано розподілення густини повітря по об'єму апарату. Найбільше значення густини є в нижній частині апарату, внаслідок зниження температури, в цій же зоні підвищується концентрація частинок продукту. На рис. 3.27. зображено розподіл тиску в апараті.

4. РОЗРОБКА ЕФЕКТИВНОЇ КОНСТРУКЦІЇ ОБЛАДНАННЯ СУШИЛЬНОГО АПАРАТУ

4.1. Опис удосконаленого апарату

В даній магістерській роботі розглядається прямоточний апарат для сушіння способом розпилення (рис. 4.1). Робочий орган є відцентровий дисковий розпилювач 2. Запропонований апарат відноситься до техніки сушіння рідких і пастоподібних продуктів. Конструкція апарату дозволяє організувати рівномірну, по висоті сушильної камери, подачу сушильного агента і збільшити час перебування розпорошених частинок продукту в сушильній камері, а також зменшити контакт частинок продукту зі стінками сушильної камери.

Сушильна камера 12 складена з трьох складових частин: верхня частина сушильної камери 10 з'єднана з циліндричною частиною сушильної камери 4, до якої приєднана нижня конічна частина сушильної камери 11. Верхня частина сушильної камери 6 оснащена верхнім патрубком введення сушильного агента і розпилювачем 2. Циліндрична частина сушильної камери 4 має патрубок введення сушильного агента по дотичній до окружності циліндричній частині сушильної камери 12. До нижньої конічної частини сушильної камери приєднаний вузол вивантаження сухого продукту.

Продукт, що піддається сушці диспергується розпилювачем в об'єм циліндричної частини сушильної камери 12. Введення сушильного агента здійснюється за патрубком 6. Розпорошені частки продукту, захоплюються потоками теплоносія, починають обертатися відносно осі камери і здійснюють рух по низхідній траєкторії.

Розпорошені частки продукту при контакті з сушильним агентом висихають і далі транспортуються потоком теплоносія по системі відсмоктування конічної частини в циклон, де за рахунок відцентрової сили відбувається відділення відпрацьованого сушильного агента від сухого

продукту, який накопичується в збірнику сухого продукту. Великі частинки сухого продукту, не захоплюючись в систему відсмоктування, накопичуються у вузлі вивантаження. Додаткове введення сушильного агента через патрубок дозволяє вирівняти температуру сушіння по висоті сушильної камери і зумовлює більш інтенсивне обтікання частинок сушильним агентом, що значно інтенсифікує процес сушіння.

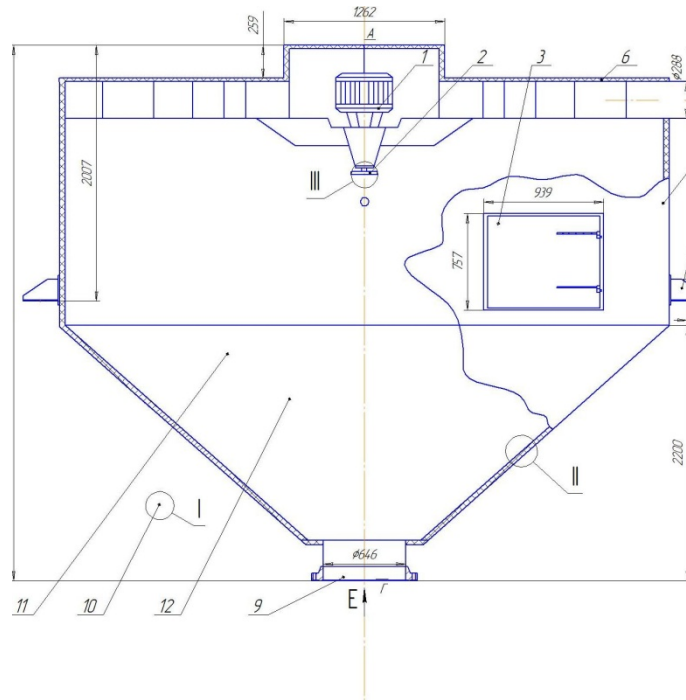


Рис. 4.1 Загальний вигляд розпилювального апарату

Розпилення матеріалу в апараті здійснюється за допомогою розпилювального диска. Від ефективності роботи диска залежить продуктивність самої сушарки. Тому необхідним є вдосконалення диску. На внутрішню поверхню тарілочатого диска додати 4 пластини певної висоти. Пластини будуть встановлені під прямим кутом одна до одної. Якщо зробити ці пластини не прямими а заокругленими подібними, впадину даної пластини потрібно зробити назустріч руху диска (тобто в протилежну сторону до напрямку колової швидкості диска). Такі пластини під час руху диска будуть захоплювати продукт, який подається на диск та краще розпиляти його по сушильній камері. За рахунок такої конструкції

ефективність роботи розпилювального апарату збільшиться.

4.2. Розрахунок основних конструктивних елементів

Основна характеристика розпилювальних сушильних апаратів – кількість вологи, що випарюється в 1 м³ сушильної камери за 1 годину, тобто напруження об'єму апарату по волозі А. Розрахунок передбачає визначення продуктивності апарата по вологому і висушеному матеріалу та кількості випаруваної вологи. Визначають основні параметри повітря за заданих умов сушіння. Спрощений розрахунок сушильної камери розпилювального апарату виконують на підставі експериментально отриманих значень напруження об'єму апарату по волозі А, що залежить від властивостей матеріалу, який висушується та умов сушіння.

Дані для розрахунку:

Висушений матеріал – кров. Спосіб розпилення - дисковий.

$t_1 = 140^\circ\text{C}$; $G_1 = 430$ кг/год; $\omega_1 = 84$ %; $\omega_2 = 5$ %; $W = 360$ кг/год; $A = 4,2$ кг/(м³ год); $D_k = 5$ м

4.2.1. Розрахунок продуктивності апарату по сировині і висушеному матеріалу.

Продуктивність апарату і кількість вологи, що видалається, визначається з рівняння матеріального балансу сухих речовин. Продуктивність апарату G_2 кг/год, по висушеному матеріалу за відомої початкової маси матеріалу G_1 кг/год, розраховують за формулою:

$$G_2 = G_1 \frac{100 - \omega_1}{100 - \omega_2}$$

Де, ω_1, ω_2 - відповідно вологість матеріалу до і після сушіння, %.

$$G_2 = 430 \frac{100 - 84}{100 - 5} = 72 \text{ кг/год}$$

Кількість випаровуваної вологи:

$$W = G_1 - G_2$$

$$W = 430 - 72 = 358 \text{ кг/год}$$

Для підтримання визначеного режиму сушіння потрібно знати основні параметри вологого повітря: температуру, відносну вологість ϕ , питомий вологовміст x , ентальпія I .

Температуру і відносну вологість повітря задають або визначають як середні значення за кліматичними таблицями районів. Питомий вологовміст повітря розраховується за формулою:

$$x = 0,622 \frac{\phi p_n}{B - \phi p_n}$$

0,622 – відношення мольних мас водяної пари і повітря;

p_n - тиск насиченої пари за певної температури повітря, Па;

B – барометричний тиск повітря, Па. Приймаємо $B=99,1$ кПа.

За дод. 2 [ст. 520, 1]

для $t_0=19,3$ °С тиск $p_{n0} = 1,95$ кПа.

для $t_1=140$ °С тиск $p_{n1} = 361,36$ кПа.

для $t_2=95$ °С тиск $p_{n2} = 31,10$ кПа.

За дод. 5 [ст. 520, 12] для м. Київ для липня місяця приймаємо $\phi_0=69\%$, $t_0=19,3$ °С;

$$x_0 = 0,622 \frac{0,69 \cdot 1,95 \cdot 10^3}{99,1 \cdot 10^3 - 0,69 \cdot 1,95 \cdot 10^3} = 0,0085 \frac{\text{кг}}{\text{кг}} \text{ с. п.}$$

$$x_2 = 0,622 \frac{0,17 \cdot 31,10 \cdot 10^3}{99,1 \cdot 10^3 - 0,17 \cdot 31,10 \cdot 10^3} = 0,0350 \frac{\text{кг}}{\text{кг}} \text{ с. п.}$$

$$x_0 = x_1 = 0,0085 \frac{\text{кг}}{\text{кг}} \text{ с. п.}$$

Стан повітря в області відносної вологості $\phi < 100\%$ однозначно визначається будь-якими двома параметрами (ентальпією, вологовмістом, температурою або відотною вологістю) на перетині ліній, що відповідають сталим значенням цих параметрів.

У процесі сушіння повітря поглинає з висушуваного матеріалу вологу і виходить із сушильної камери. При цьому вологовміст повітря збільшується від початкового $x_0=x_1$ до стану x_2 . Маса абсолютно сухого повітря за

достатньої герметичності сушильної камери практично залишається незмінною.

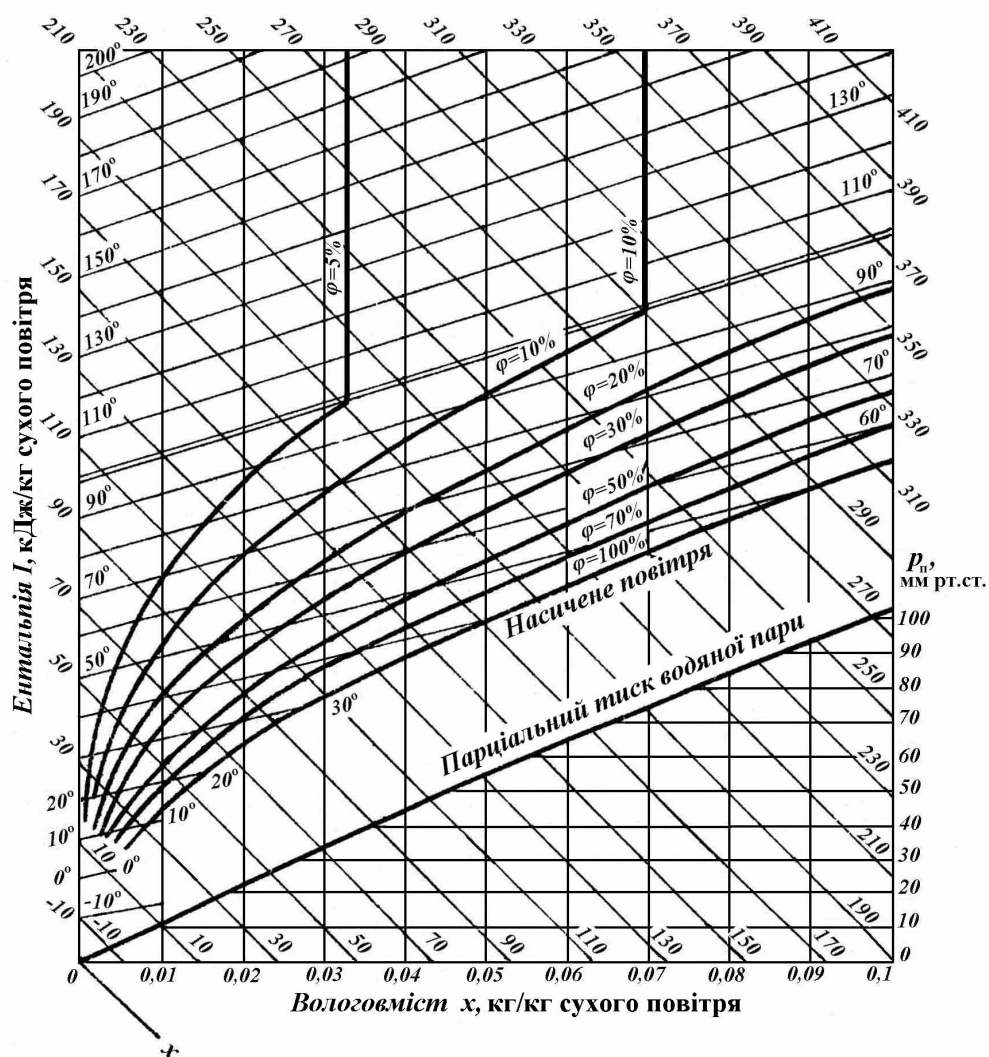


Рис. 4.2 Діаграма I – x вологого повітря.

Тому з рівняння матеріального балансу вологи можна розрахувати витрати абсолютно сухого повітря L_y сушарці:

$$L = \frac{W}{x_2 - x_1}$$

$$L = \frac{358}{0,0350 - 0,0085} = 13509 \text{ кг/год}$$

Питому витрату абсолютно сухого повітря, тобто кількість повітря в кг, витрачену на випаровування 1 кг вологи, розраховують за формулою:

$$l = \frac{L}{W} = \frac{1}{x_2 - x_1}$$

$$l = \frac{1}{0,0350 - 0,0085} = 37,73 \text{ кг/год}$$

$v_{\text{п}}$ - питомий об'єм вологого повітря, що припадає на 1 кг абсолютно сухого повітря, м³/кг

$$v_{\text{п}} = \frac{R_{\text{п}} \cdot T}{B - \phi p_{\text{п}}}$$

$$v_{\text{п}} = \frac{287 \cdot 291}{99100 \cdot 0,69 \cdot 2064} = 0,86 \text{ м}^3/\text{год}$$

$R_{\text{п}}$ - газова стала, Дж/(кг·К) для повітря $R_{\text{п}}=287$ Дж/(кг·К).

T – абсолютна температура повітря, К.

Знаючи об'ємну витрату повітря, можна визначити швидкість повітря в сушильній камері, що характеризує режим сушіння і втрати теплоти в навколишнє середовище, а також розрахувати і вибрати вентилятор. Тому об'ємну витрату повітря визначають за параметрами, що характеризують його на вході в вентилятор, сушильну камеру і на виході з неї.

Матеріальний баланс:

$$\frac{W}{x_2 - x_1} - L = 0$$

$$\frac{358}{0,0350 - 0,0085} - 13509 = 0$$

4.2.2. Тепловий розрахунок

Розглянемо тепловий баланс реальної сушильної камери. Подача тепла. Теплота, що вноситься: 1) повітрям і вологою, яка присутня в ньому, а також вологим матеріалом; 2) устаткуванням, що вводиться в сушарку і транспортні засоби; 3) додатково в камеру сушарки від нагрівальних елементів.

Витрата тепла. Тепло, що виходить з 1) повітрям; 2) з висушуваним матеріалом; 3) транспортними засобами; 4) втрати в навколишнє середовище.

Складемо рівняння теплового балансу реального процесу сушіння:

$$L I_1 + G_1 C_1 \theta_1 = L I_2 + G_2 C_2 \theta_2 + \theta_{\text{вирт}} = L(I_2 - I_1) = G_1 C_1 \theta_1 - G_2 C_2 \theta_2 - \theta_{\text{вирт}}$$

C – питома теплоємність матеріалу, кДж/(кгК) для крові $C=3,88$ кДж/(кгК);

$\theta_{\text{вирт}}$ - втрати в навколишнє середовище. Для знаходження цих втрат тепла визначаємо ентальпію повітря.

Ентальпію вологого повітря визначають як суму ентальпій сухого повітря і водяної пари, що припадає на 1 кг сухого повітря:

$$I = c_{\text{с.п}} t + x i_{\text{п}}$$

$$I_0 = 1,004 \cdot 19,3 + 0,0085 \cdot 2484,75 = 40,49 \text{ кДж/кг}$$

$$I_2 = 1,004 \cdot 95 + 0,0350 \cdot 2461,94 = 156,44 \text{ кДж/кг}$$

$$I_1 = C_{\text{сп}} \cdot t_1 = 1,004 \cdot 140 = 140,56 \text{ кДж/кг}$$

$c_{\text{с.п}}$ - середня питома теплоємність сухого повітря кДж/(кг·К) (при $t < 200^\circ \text{C}$ $c_{\text{с.п}} = 1,004$ кДж/(кг·К) ;

t - температура вологого повітря, $^\circ \text{C}$;

x - питомий вологовміст повітря, кг/кг с.п;

$i_{\text{п}}$ - питома ентальпія перегрітої пари кДж/кг.

З достатнім для практики ступенем точності $i_{\text{п}}$ розраховують за формулою:

$$i_{\text{п}} = r_0 + c_{\text{п}} t$$

r_0 – питома теплота пароутворення води, кДж/кг (при $t_0=19,3$ $^\circ \text{C}$ $r_0=2449,2$ кДж/кг)

$c_{\text{п}}$ - середня питома теплоємність водяної пари, кДж/(кг·К). $c_{\text{п}} = 1,842$ кДж/(кг·К).

$$i_{\text{п}0} = 2449,2 + 1,842 \cdot 19,3 = 2484,75 \text{ кДж/кг}$$

$$i_{\text{п}2} = 2333,0 + 1,842 \cdot 140 = 2461,94 \text{ кДж/кг}$$

$$L(I_2 - I_1) = \theta_{\text{вирт}}$$

Праву і ліву частину цього рівняння віднесемо до 1 кг випареної вологи в сушарці води:

$$\frac{L}{W}(I_2 - I_1) = \frac{\sum \theta_{\text{вит}}}{W}, \quad I(I_2 - I_1) = \Delta$$

Δ - кількість теплоти, що вноситься в камеру сушарки, чи витрачається нею, Дж на 1 кг випареної вологи. Причому величина Δ може бути додатною чи від'ємною в залежності від значення складових теплового балансу. Для знаходження Δ необхідно знати втрати теплоти в навколишнє середовище, що можливо після розрахунку теплової ізоляції.

4.2.3. Розрахунок основних робочих елементів

Визначивши габаритні розміри сушильної камери і вибравши конструкцію огороження (як ізоляційний матеріал найчастіше використовують скловолокно), виконують тепловий розрахунок установки; знаходять поправку для реального сушильного процесу $\Delta, q_{\text{тр}}=0$; будують реальний процес сушіння у І-х діаграмі; визначають питомі й повні витрати теплоти, абсолютно сухого повітря й об'ємну витрату повітря V

До основних параметрів сушильної башти відносяться діаметр краплі, на які розпилюється речовина, радіус факелу розпилення та швидкість витання частинок.

Швидкість повітря в сушильній камері, м/с:

$$v = \frac{V}{3600 \frac{\pi}{4} D_{\text{к}}^2}$$

Питомі витрати теплоти в навколишнє середовище розраховують за відомої швидкості повітря в сушильній камері, яку приблизно можна визначити, побудувавши теоретичний сушильний процес, за умови, що параметри повітря на виході із сушильної камери невідомі.

Початкова швидкість польоту краплі, її діаметр і радіус факела розпилювання визначаються конструкцією розпилювального пристрою. У разі дискового розпилювання $v_{\text{п}}$ може дорівнювати коловій швидкості диска, яка у сучасних установках досягає 200 м/с.

Мінімальна колова швидкість диска має бути не менше як 50 м/с.

зазвичай вона становить 130...150 м/с, а діаметр диска 270...320 мм. Частота його обертання коливається в межах 6000...45000 хв⁻¹. Вибравши колову швидкість і розміри диска, знаходять його частоту обертання і розраховують привід.

Діаметр краплі можна визначити за допомогою емпіричних формул, до яких входять основні визначальні параметри. Для дискового розпилювання:

$$d = 98.5 \frac{1}{n} \sqrt{\frac{\sigma}{\rho_M^{\pi} R_D g}}$$

n - частота обертання диска, хв⁻¹; ρ_M^{π} - початкова густина матеріалу, кг/м³; R_D - радіус диска, м.

Діаметр крапель, який розраховують за попередньою формулою, відповідає розміру найбільших крапель. В.Д. Андреев рекомендує таку формулу:

$$d = \frac{0.0425}{\sqrt[3]{\rho_M^{\pi} \omega^2}}$$

Середній діаметр крапель становить 5...100мкм.

Приймаємо $\rho_M^{\pi} = 1057$ кг/м³, $\omega = 200$ м/с

$$d = \frac{0.0425}{\sqrt[3]{1044,4 \cdot 200^2}} = 122 \text{ мкм}$$

Згідно даних поверхневий натяг сироватки крові ВРХ $\sigma = 0,568 \cdot 10^{-5}$ Н/м. Зазвичай діаметр диску 270 – 320 мм. Прийmemo $D_d = 300$ мм. Частота обертання диску коливається у межах 6000 – 45000 об./хв

Знайдемо частоту обертання диска, радіус диска приймаємо $R=0,15$ м

$$n = \frac{30 \omega_n}{\pi R} = \frac{30 \cdot 200}{3,14 \cdot 0,15} = 12739 \text{ хв}^{-1}$$

$$d = 98.5 \frac{1}{n} d = 98.5 \cdot \frac{1}{12739} \sqrt{\frac{0,568 \cdot 10^{-5}}{1044,4 \cdot 0,15 \cdot 9,81}} = 0,5 \text{ мкм}$$

Середній діаметр крапель у сушарках при дисковому розпилюванні існує у межах 5 – 100 мкм, тому приймаємо $d = 25$ мкм. Визначивши діаметр

краплі можна розрахувати радіус факелу розпилю за формулою:

$$R_{\Phi} = \frac{21.7 d \rho_{\text{м}}^{\text{ср}}}{c \rho_{\text{п}}} \lg \frac{v_{\text{п}}}{v_{\text{к}}}$$

d - діаметр краплі, м; $\rho_{\text{м}}^{\text{ср}}$ - середня густина матеріалу, що розпилюється, кг/м³;

$$\rho_{\text{м}}^{\text{ср}} = \frac{\rho_{\text{м}}^{\text{н}} + \rho_{\text{м}}^{\text{к}}}{2}$$

$\rho_{\text{м}}^{\text{н}}, \rho_{\text{м}}^{\text{к}}$ - густина матеріалу відповідно на початку і в кінці процесу

$c = 1,3$ – коефіцієнт,

$\rho_{\text{п}}$ - густина повітря, кг/м³; $\rho_{\text{п}} = 0,977$ кг/м³

$v_{\text{п}}$ - початкова швидкість польоту краплі, м/с;

$v_{\text{к}}$ - кінцева швидкість польоту краплі м/с (рекомендується $v_{\text{к}} = 0,4$ м/с).

$$R_{\Phi} = \frac{21,7 \cdot 25 \cdot 10^{-6} \cdot 1072,2}{1,3 \cdot 0,977} \lg \frac{200}{0,4} = 1,45 \text{ м}$$

Швидкість повітря в сушарках з висхідним потоком має бути меншою за швидкість витання частинок: $v < v_{\text{вит}}$. значення $v_{\text{вит}}$ орієнтовно можна визначити за законом Стокса:

$$v_{\text{вит}} = \frac{g d^2 (\rho_{\text{м}}^{\text{к}} - \rho_{\text{п}})}{18 \mu_{\text{п}}}$$

$$v_{\text{вит}} = \frac{9,81 \cdot 0,000122^2 \cdot (1100 - 0,977)}{18 \cdot 2,35 \cdot 10^{-5}} = 0,379 \text{ м/с}$$

g - прискорення вільного падіння, м/с²; d - діаметр частинки, м; $\rho_{\text{м}}^{\text{к}}$ - кінцева густина висушеного матеріалу, кг/м³; $\rho_{\text{п}}$ - густина повітря, кг/м³; $\mu_{\text{п}}$ - в'язкість повітря, Па×с.

Конструктивний розрахунок розпилювальних пристроїв зазвичай зводиться до визначення форми і розміру отворів у дисках.

4.2.4 Конструкція і розрахунок основних розмірів сушильної камери

Основна характеристика розпилювальних сушильних апаратів – кількість вологи, що випарюється в 1 м³ сушильної камери за 1 годину, тобто напруження об'єму апарату по волозі А.

$$A = \frac{W}{V_{\kappa}}$$

На основі експериментально отриманих значень маємо, що при температурі сушильного агенту $t_1=140\text{ }^{\circ}\text{C}$ $A = 3,2\text{ кг/м}^3\text{год}$.

Об'єм сушильної камери:

$$V_{\kappa} = \frac{W}{A}$$

$$V_{\kappa} = \frac{358}{3,2} = 112\text{ м}^3$$

Приймаємо $V_{\text{кон}} = 36\text{ м}^3$ і $V_{\text{ц}} = 76\text{ м}^3$.

Об'єм камери також можна розрахувати, враховуючи кількість теплоти, що витрачається на нагрівання матеріалу і випаровування вологи:

$$V_{\kappa} = \frac{Q_{\text{суш}}}{\alpha_v \cdot \Delta t_{\text{ср}}}$$

$\Delta t_{\text{ср}}$ - середня різниця температур повітря і матеріалу, що висушується, на вході в сушильну камеру і виході з неї, α_v – об'ємний коефіцієнт теплообміну Вт/(м³К)

Об'ємний коефіцієнт теплообміну α_v пов'язаний з коефіцієнтом тепловіддачі α , віднесеним до одиниці поверхні випарювання, рівнянням:

$$\alpha_v = \alpha \frac{f}{V_{\kappa}}$$

α - коефіцієнт тепловіддачі Вт/(м³К); f - сумарна поверхня частинок, що перебувають у завислому стані в сушильній камері, м².

Отже, об'ємний коефіцієнт теплообміну можливо а визначити за відомих α і V_{κ} . об'єм сушильної камери у процесі сушіння харчових продуктів доцільно розраховувати з використанням дослідного значення A .

Попередньо приймаємо габаритні розміри сушильної камери для $W = 400\text{ кг/год}$, $V_{\kappa}=98\text{ м}^3$, $D_{\kappa}= 5,0\text{м}$, $H_{\kappa}=5,0\text{ м}$. за табл. 9.3 [ст. 255, 14]

Габаритні розміри сушильної камери визначають із співвідношення:

$$k = \frac{H_{\kappa}}{D_{\kappa}}$$

H_K - висота камери, м; D_K - діаметр камери, м;

$$D_K = \sqrt[3]{\frac{4V_K}{\pi k}}$$

$$D_K = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 112}{3,14 \cdot 1,0}} = 5,21 \text{ м}$$

Для сушильних апаратів з дисковим розпилювачем, у яких факел розпилення перебуває у горизонтальній площині, $k=0,8 \dots 1,0$. При цьому відстань від верхнього перекриття до рівня диска беруть такою, що дорівнює $1,0 \dots 1,5$ м. Необхідний діаметр сушильної камери визначають з питомої й об'ємної витрат повітря, що розраховують за формулами, за відомих параметрів повітря на вході в сушильну камеру і виході з неї.

Переріз сушильної камери, м^2 :

$$F_K = \frac{V}{3600v}$$

$$F_K = \frac{11617}{3600 \cdot 0,24} = 13,44 \text{ м}^2$$

v - задана швидкість повітря в сушильній камері, м/с , приймаємо $0,25 \text{ м/с}$.

Швидкість повітря орієнтовно можна визначити за емпіричною формулою:

$$v = 0,0127\sqrt{W}$$

$$v = 0,0127 \cdot \sqrt{358} = 0,24 \text{ м/с}$$

W - кількість випаруваної вологи, кг/год .

Тоді діаметр камери:

$$D_K = \sqrt{\frac{4F_K}{\pi}}$$

$$D_K = \sqrt{\frac{4 \cdot 13,44}{\pi}} = 4,13 \text{ м}^2$$

Повинна виконуватися умова:

$$0,8 R_K \leq D_K \leq 3,5 R_K ;$$

Надійна робота сушильної камери, без відкладень продукту на стінках, забезпечується за умови, що R_{ϕ} орієнтовно становить 0,8 радіуса камери. Як правило $D_K = (2,8 \dots 3,5)R_{\phi} = 3,5 \cdot 1,45 = 5,07 \text{ м}$. Визначивши діаметр сушильної камери, розраховують її висоту:

За ГОСТ 9941-72 приймаємо внутрішній діаметр сушильної камери $D_K = 5 \text{ м}$. товщину стінок обичайок приймаємо $\delta=8 \text{ мм}$. Визначивши діаметр сушильної камери, розраховують висоту. Об'єм сушильної камери складається з циліндричної і конічної частин.

$$V_{\text{ц}} = V_K - V_{\text{кон}}$$

Об'єм конічної частини:

$$V_K = \frac{1}{3} \pi H_{\text{кон}} (R_K^2 + r_{\text{кон}}^2 + R_K r_{\text{кон}})$$

$H_{\text{кон}}$ – висота конуса, м; R_K – радіус камери, м; 2,5 м; $r_{\text{кон}}$ – найменший радіус конуса, м. 0,8 м.

$$V_K = \frac{1}{3} 3,14 \cdot 2 \cdot (2,5^2 + 0,8^2 + 2,5 \cdot 0,8) = 18,60 \text{ м}^3$$

Об'єм циліндричної частини сушильної камери:

$$V_{\text{ц}} = V_K - V_{\text{кон}}$$

$$H_{\text{ц}} = \frac{V_{\text{ц}}}{\frac{\pi}{4} D_{\text{ц}}^2}$$

$$H_{\text{ц}} = \frac{76}{\frac{3,14}{4} 5^2} = 3,8 \text{ м}$$

Загальна висота камери:

$$H_K = H_{\text{ц}} + H_{\text{кон}} = 3,8 + 2 = 5,8 \text{ м}$$

4.2.5. Розрахунок теплової ізоляції.

Знайдемо витрати теплоти в навколишнє середовище:

$$Q_{\text{втр}} = 3,6 k F \Delta t_{\text{ср}}$$

k – коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м²К); F – поверхня апарату, м²; $\Delta t_{\text{ср}}$ – середня різниця температур, °С.

$$\Delta t_{cp} = t_{cp} - t_{п}$$

t_{cp} - середня температура повітря в сушильній камері;

$$t_{cp} = \frac{t_1 + t_2}{2} = \frac{140^\circ + 70^\circ}{2} = 105^\circ$$

t_1, t_2 – відповідно температура на вході і на виході з сушарки; $t_{п}$ - температура зовнішнього повітря;

$$\Delta t_{cp} = 105 - 19,3 = 85,7^\circ\text{C}$$

Коефіцієнт теплопередачі розраховується за формулою:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

α_1 – коефіцієнт тепловіддачі від повітря до внутрішньої стінки камери, Вт/(мК);

δ_i - товщина окремих слоїв огороження камери, м;

λ_i - коефіцієнт теплопровідності відповідного шару ізоляції, Вт/(м²К);

α_2 – коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої поверхні камери до оточуючого середовища, Вт/(мК);

Коефіцієнт тепловіддачі α_1 визначаємо з врахуванням примусової та природної конвекції $\alpha_1 = A(\alpha'_1 + \alpha''_2)$

A – коефіцієнт руху повітря, $A = 1,2 \dots 3$. Коефіцієнт тепловіддачі α'_1 для примусової конвекції визначають з критеріальних рівнянь. Критерій Рейнольдса:

$$Re = \frac{vd}{\nu} = \frac{vD_k}{\nu}$$

$v = 0,24$ м/с – швидкість руху повітря у камері; D_k - діаметр камери, м;

ν - коефіцієнт кінематичної в'язкості повітря м²/с. При $t_1 = 140^\circ\text{C}$ $\nu = 28,45 \cdot 10^{-6}$ м²/с.

$$Re = \frac{0,24 \cdot 5}{28,45 \cdot 10^{-6}} = 42179$$

При $Re < 10^5$ критерій Нусельта $Nu = 0,66 \cdot Re^{0,5}$

$$Nu = 0,66 \cdot 42179^{0,5} = 135$$

$$Nu = \frac{\lambda_i D_k}{\lambda}$$

λ – коефіцієнт теплопровідності повітря, при $t_1 = 140^\circ\text{C}$ $\lambda = 3,326 \cdot 10^{-2}$ Вт/(м²К);

$$\lambda_i = \frac{Nu \lambda}{D_k} = \frac{135 \cdot 3,326 \cdot 10^{-2}}{5} = 0,89 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}$$

Визначаємо коефіцієнт тепловіддачі при природній конвекції для вертикальних стінок. Критерій Грасгофа

$$Gr = \frac{g h_k^3}{\nu^2} \left(\frac{T_{\text{cp}} - T_{\text{cpв}}}{T_{\text{cp}}} \right)$$

h_k^3 - висота сушарки, м;

T_{cp} - абсолютна середня температура повітря, К; $T_{\text{cp}} = 273 + t_{\text{cp}}$

$T_{\text{cpв}}$ – абсолютна середня температура стінки, орієнтовно приймається на 5...15° нижче середньої температури.

$$T_{\text{cp}} = 273 + t_{\text{cp}} = 273 + 105 = 378 \text{ К}$$

$$T_{\text{cpв}} = 373 \text{ К}$$

$$t = t_{\text{cp}} + \frac{t_{\text{cpв}}}{2} = 105 + \frac{100}{2} = 102,5^\circ\text{C}$$

$$\text{При } t = 105^\circ\text{C } \nu = 23,78 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

$$Gr = \frac{9,81 \cdot 6,2^3}{(23,78 \cdot 10^{-6})^2} \cdot \left(\frac{378 - 373}{373} \right) = 5,5 \cdot 10^{10}$$

$Pr = 0,722$ - критерій Прантля

$$(Gr \cdot Pr) = 5,5 \cdot 10^{10} \cdot 0,722 = 4 \cdot 10^{10}.$$

При $(Gr \cdot Pr) > 10^9$

$$Nu = 0,15(Gr \cdot Pr)^{0,33} = 0,15(4 \cdot 10^{10})^{0,33} = 473$$

$$Nu = \frac{\alpha_1'' \cdot D_k}{\lambda} = \alpha_1'' = \frac{Nu \cdot \lambda}{D_k}$$

$$\lambda = 3,07 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/(м}^2\text{К)}$$

$$\alpha_1'' = \frac{473 \cdot 3,07 \cdot 10^{-2}}{5} = 3 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}$$

Коефіцієнт тепловіддачі

$$\alpha_1 = (\alpha_1' + \alpha_1'') = (0,8 + 3)3 = 11,4 \text{ Вт/(мК)}$$

Коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої поверхні камери α_2 знайдемо за формулою:

$$\alpha_2 = 9,74 + 0,07(t_{\text{стн}} - t_{\text{н}})$$

$t_{\text{стн}} = 40^\circ\text{C}$ - температура зовнішньої стінки;

$t_{\text{н}} = 19,3^\circ\text{C}$ - температура повітря;

$$\alpha_2 = 9,74 + 0,07(40 - 19,3) = 11,28 \text{ Вт/(мК)}$$

Визначимо товщину шару ізоляції

$$\delta = \frac{\lambda(t_1 - t_{\text{ст}})}{9,88(t_{\text{ст}} - t_{\text{п}})}$$

$t_1 = 105^\circ\text{C}$ - середня температура в апараті;

$t_{\text{ст}} = 40^\circ\text{C}$ - температура зовнішньої стінки;

$t_{\text{п}} = 19,3^\circ\text{C}$ - температура повітря.

Приймаємо матеріал ізоляції – скловата. $\lambda = 0,076 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}$

$$\delta = \frac{0,076(105 - 40)}{9,88(40 - 19,3)} = 23 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

В результаті проектування маємо стінка сушильної башти з нержавіючої сталі $\delta = 8 \text{ мм}$, $\lambda = 17,5 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}$, шар ізоляції зі скловати $\delta = 23 \text{ мм}$, $\lambda = 0,076 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}$. Зовнішній шар з листового алюмінію $\delta = 1 \text{ мм}$, $\lambda = 203,5 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}$,

Розраховуємо коефіцієнт теплопередачі:

$$\kappa = \frac{1}{\frac{1}{11,4} + \frac{8 \cdot 10^{-3}}{17,5} + \frac{23 \cdot 10^{-3}}{0,076} + \frac{1 \cdot 10^{-3}}{203,5} + \frac{1}{11,28}} = 2,6 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}$$

Знайдемо загальну площу поверхні апарату:

$$F = F_{\text{ц}} + F_{\text{кон}} + F_{\text{ст}}$$

$F_{\text{ц}}$ - площа циліндричної частини башти, м^2 ; $F_{\text{кон}}$ - площа конічної частини

башти, м^2 ; $F_{\text{ст}}$ - площа стелі башти, м^2 ;

$$F_{\text{ц}} = 2\pi R_k H_{\text{ц}} = 2 \cdot 3,14 \cdot 2,5 \cdot 3 = 47\text{м}^2$$

$$F_{\text{кон}} = \pi(R_k + r_{\text{кон}}) \cdot \left(\sqrt{H_{\text{кон}}^2 + (R_k - r_{\text{кон}})^2} \right)$$

$$F_{\text{кон}} = 3,14(2,5 + 0,8) \cdot \left(\sqrt{3,2^2 + (2,5 - 0,8)^2} \right) = 38\text{м}^2$$

$$F_{\text{ст}} = \pi R_k^2 = 3,14 \cdot 2,5^2 = 20\text{м}^2$$

$$F = 47 + 38 + 20 = 105\text{м}^2$$

Втрати теплоти в навколишнє середовище

$$Q_{\text{втр}} = 3,6KF\Delta t_{\text{ср}} = 3,6 \cdot 2,6 \cdot 105 \cdot 87 = 85,5 \text{ кДж/кг}$$

Знайдемо величину загальних втрат теплоти Δ

$$\Delta = \frac{(G_1 C_1 \theta_1 - G_2 C_2 \theta_2 - \theta_{\text{втр}})}{W}$$

C_1, C_2 – відповідно теплоємність вологого і сухого матеріалу, $\text{кДж}/(\text{кгК})$.

$$\Delta = \frac{(480 \cdot 4,3 \cdot 40 - 200 \cdot 1,8 \cdot 60 - 85,5)}{360} = 140,3 \text{ кДж}/(\text{кгК}).$$

Тепловий баланс

$$I_2 = I_1 + \frac{\Delta}{l}$$

$$144,3 = 140,56 + \frac{140,3}{40,65}$$

Різниця в розрахунках пояснюється приближенням значень в деяких випадках. В якості показника ефективності знайдемо енергетичний ККД сушильної установки:

$$\eta_{\text{ен}} = \frac{r(d_2 - d_1)}{c_p(t_1 - t_0) \cdot 1000}$$

r - питома теплота пароутворення при середній температурі матеріалу

$$\theta = 50^\circ\text{C}, r = 2280 \text{ кДж/год}$$

$$\eta_{\text{ен}} = \frac{2280(35,1 - 0)}{1,022(140 - 19,3) \cdot 1000} = 64\%$$

Втрати сухого повітря на одиницю продукції, що оброблюється в апараті:

$$B = \frac{L}{G_1} = \frac{11382}{480} = 23.7 \frac{\text{кг. с. п}}{\text{кг. в. р.}}$$

Напруження сушарки по волозі

$$A = \frac{W}{V_{\kappa}} = \frac{360}{112} = \frac{3,2\text{кг}}{\text{м}^3 \text{год}}$$

4.3. Опис апаратурної лінії.

Кров збирають від ВРХ і свиней за допомогою парожнистих ножів у бачки для стабілізації, де вона стабілізується відповідно до технологічних інструкцій використання вибраного стабілізатора.

Стабілізована кров надходить у збірник, звідки насосом подається в накопичувач, потім на сепарацію для розподілу на фракції — плазму і формені елементи. Фракції сепарованої крові розподіляються по збірниках, з яких насосами подаються в дозувальні бачки. Із цих бачків формені елементи зливаються у варильні котли (автоклави) для коагуляції з подальшим використанням у ковбасному виробництві. Плазму крові з дозувальних бачків подають до морозильних агрегатів для виробництва мікробіологічних препаратів. Плазму, яку не використовують у день її отримання, заморожують, пакують у коробки з гофрокартону і направляють на зберігання до холодильника. Щоб запобігти псуванню крові, час між її збиранням і заморожуванням не повинен перевищувати 1 год.

Якщо операцію стабілізації крові не виконували, то на механізованій лінії з харчової дефібринованої крові отримують формені елементи і сироватку. Для дефібринованої крові на лінії замість збірних бачків для стабілізації встановлюють дефібринатори.

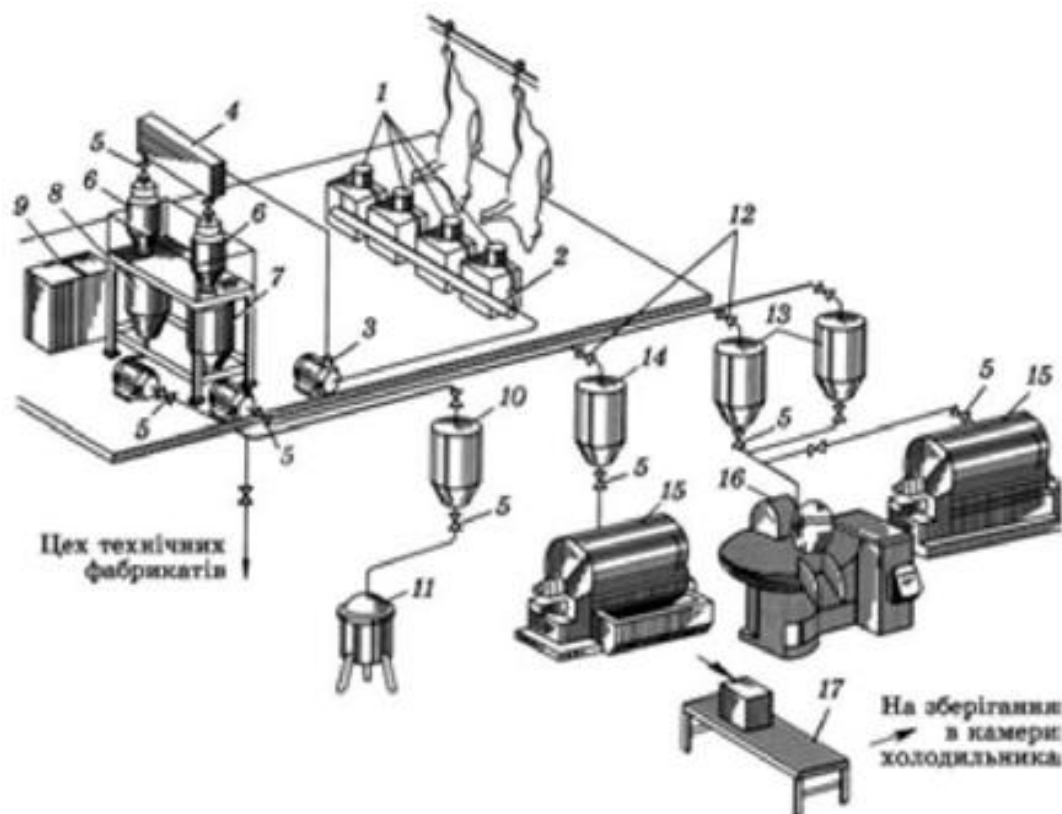


Рис. 4.3 Схема потоково-механізованої лінії для переробки крові

1 – бачки для збирання і стабілізації крові; 2 – збірник для стабілізованої крові; 3 – насос; 4 – збірник плазми крові; 5 – пробкові крани; 6 – сепаратори СК-1; 7 – накопичувач стабілізованої крові; 8 – збірник формених елементів; 9 – щит керування; 10 – бак дозування формених елементів; 11 – варильний котел для коагуляції

Установка складається з шести, незв'язаних жорстко складових частин: установки тепло генератора і його щита управління, власне сушильної камери, віброохолоджувача, установки циклонів і вентилятора, площадок обслуговування, щита контролю та управління. Обладнання встановлене на підлозі цеху і на металоконструкціях (майданчиках обслуговування).

Принцип роботи установки полягає у зневодненні диспергованого в обсязі сушильної камери на найдрібніші частинки рідкого продукту нагрітим повітрям. Концентровані до необхідного вмісту сухих речовин в вакуум-випарних установках або іншим способом, продукти подаються в ємність системи подачі рідкого продукту, обладнаних перемішуючим пристроєм. Потім насосом-дозатором концентрований продукт по трубопроводу подається на відцентровий дисковий розпилювач, встановлений у верхній

частині сушильної камери. За допомогою розпилювача продукт розпорошується (диспергується) в обсязі сушильної камери на рідкі частинки діаметром 10 ... 50 мкм і утворює факел розпилу.

Повітря з приміщення очищається повітряним фільтром і подається нагнітальним вентилятором в газовий теплогенератор, і далі в повітряний розподільний пристрій сушильної камери. У результаті взаємодії потоків нагрітого повітря і розпорошеного продукту в сушильній камері відбувається процес зневоднення крапель продукту і утворення твердих сухих частинок.

Висушений продукт, разом з відпрацьованим повітрям по трубопроводам надходить в циклони, де відбувається їх поділ. Установка сушильна може працювати в двох режимах - ручному (дистанційному) і автоматичному. Регульованим параметром є температура повітря на виході з сушильної камери, температура вхідного повітря. Стабільність температури на виході, яка визначає вологість сухого продукту, підтримується регулюванням подачі на відцентровий розпилювач вихідного продукту.

Необхідна температура визначається видом продукту, уточнюється при налагодженні установки і задається за допомогою приладу автоматичного регулювання.

Система сепарування порошку може включати в себе послідовно встановлені циклони, з опором до 1500 Па і рукавний фільтр, що складається з корпусу, системи рукавних тканинних фільтрів, встановлених на каркасах і з'єднаних між собою в групи.

Очищене від порошку повітря вентилятором подається в атмосферу, а сухий порошок через роторні затвори циклонів надходить до віброохолоджувача, - для охолодження і транспортування чи повертається в зону розпилу камери сушильної установки для отримання продукту підвищеної розчинності. Друга, більша частина продукту, осідає на дно і також надходить в віброохолоджувач, де відбувається досушування та охолодження всієї маси продукту. Відпрацьоване повітря з віброохолоджувача пило

відвідним вентилятором подається через циклони в атмосферу.

Система імпульсно-динамічної очистки - комплект обладнання для очищення внутрішньої поверхні сушильної вежі і циклонів від налиплого продукту. У комплект входить силовий блок, пульт керування, комплект виконавчих механізмів, високовольтні кабелі, кабелю управління і кронштейни. Виконавчі механізми системи встановлюються на сушильній камері, а також в горловині циклону.

Управління установкою централізоване і здійснюється за допомогою щита контролю та управління, щита автоматики, щита магнітно-імпульсної установки, щита теплогенератора, в яких змонтовані прилади контролю та автоматичного регулювання, пускозахисна апаратура, органи управління (кнопки «пуск - стоп»). Шафа управління і контролю виконана у вигляді шафової уніфікованої конструкції. Використовуються електротехнічні пристрої та прилади контролю фірм Siemens. Для зручності управління установка комплектується комп'ютером, що дозволяє контролювати і архівувати параметри її роботи.

SCADA- система верхнього рівня на базі програмного продукту WinCC фірми Siemens дозволяє виводити всі параметри технологічного процесу на монітор комп'ютера, здійснювати контроль за роботою установки і зберігати архів показників роботи за певний період, а також встановлювати параметри роботи сушильної установки дистанційно, з робочого місця оператора.

Система подачі продукту призначена для створення запасу рідкого продукту перед сушінням, його нагрівання або охолодження, перемішування і дозованої подачі на механізм розпилення, який складається з двох ємностей з мішалками, ємності для води, насоса-дозатора, панелей управління і комплекту трубопроводів.

Насос-дозатор також призначений для здійснення безрозбірного миття трубопроводів по закінченні процесу сушіння шляхом циркуляції по системі миючих розчинів, а також мийки розпилювального пристрою.

Частота обертання електродвигуна, і відповідно, подача насосу регулюються за допомогою частотного перетворювача зміною частоти напруги. В автоматичному режимі частотний перетворювач регулює подачу, залежно від температури продукту на виході з сушильної камери. Комплект продуктопроводів виконаний з корозійно-стійких труб.

Установка тепло генератора призначена для нагріву попередньо очищеного від пилу повітря і подачі його в сушильну камеру. Складається з повітряного фільтру, нагнітального вентилятора, теплогенератора, фільтра гарячого повітря, системи повітряних проводів із затвором, що має механічний привід, труби димової.

Установка (рис. 4.4) працює таким чином: повітря з приміщення за допомогою вентилятора 7 проходить через повітряний фільтр 6, де очищається від пилу і подається через дифузор в калорифер 4,5. Нагріте повітря з калорифера через фільтр гарячого повітря подається в повітряний розподільник сушильної камери. Регулювання кількості повітря проводиться повітряний затвором з механічним приводом, встановленої на повітряний проводі гарячого повітря. Повітряний фільтр являє собою прямокутний корпус на підставі, в якому встановлюються кишенькові фільтра. Камера сушильна призначена для здійснення процесу зневоднення розпорошеного рідкого продукту нагрітим повітрям та отримання сухого порошку.

Складається з циліндрової сушильної камери з дверима, дахом і дном, відцентрового дискового розпилювача 3, огорож і опорних стійок і виконавчих пристроїв установки магнітно-імпульсної 19, забезпечена соплами для подачі гарячого повітря всередину камери.

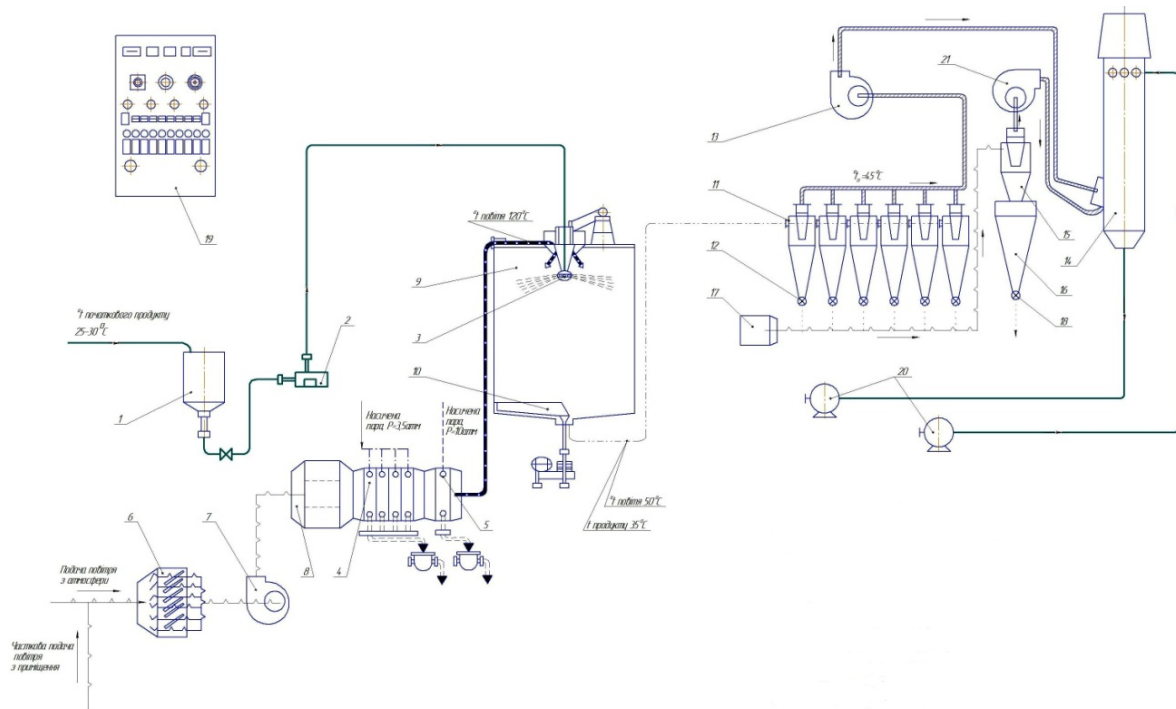


Рис. 4.4 Апаратурна схема розпилювального апарату

- 1 – бункер для початкового продукту; 2 – насос; 3 – розпилювальний диск;
 4,5 – калорифер; 6 – фільтр грубої очистки повітря; 7, 21 – вентилятор; 8 –
 фільтр; 9 – сушильна башта; 10 – збірник висушеного продукту;
 11 – циклон; 12,18 – шлюзові затвори; 13 – вентилятор;
 14 – відцентровий скруббер; 15 – циклон; 16 – бункер готового продукту; 17 –
 фільтр очистки повітря; 19 – пульт керування; 20 – насос

Рідкий продукт, що подається, розпорошується в обсязі сушильної камери, гаряче повітря, що подається в повітряний розподільник сушильної камери, кільцевим закрученим потоком спрямовується на факел розпорошене продукт. У результаті тепло- масообміну потоків гарячого повітря і розпорошеного продукту відбувається зневоднення останнього з утворенням твердих частинок. Частинки продукту, осідаючи в об'ємі камери, в нижній частині отримують додатковий тангенціальний імпульс від гарячого повітря, що подається з сопел. Далі частина порошку несеться потоком відпрацьованого повітря в циклон.

Дах камери складається з трьох частин, виконаних як єдине ціле з повітряним розподільником. Повітряний розподільник являє собою теплоізолюваний канал. Циліндрична частина сушильної камери складається з шести секцій, зібраних в стик за допомогою болтових з'єднань і з

приваркою швів внутрішньої обшивки. Одна секція виконана з дверима і оглядовим люком. Внутрішня обшивка секцій виконана з листової корозійностійкої сталі, зовнішня обшивка - з нержавіючої сталі. Внутрішній простір секцій заповнений теплоізоляцією.

У верхній частині камери встановлений трубопровід системи подачі пари в камеру. Відведення порошку - з дна сушильної камери. Сушильна камера встановлюється на фундамент підлоги цеху на чотирьох опорах-стійках. Камера сушильна забезпечена датчиками температури повітря, датчиком тиску повітря в камері, кінцевим вимикачем, світильником безпеки над дверима.

Система відсмоктування відпрацьованого повітря призначена для відводу відпрацьованого повітря і висушеного продукту з сушильної камери, поділу їх в циклонах і подачі очищеного повітря в атмосферу, складається з системи повітряних проводів, циклонів і установки відсмоктувального вентилятора. Повітря з сушильної камери, що містить сухий продукт в підвішеному стані, по повітряним проводам подається в циклони, де відбувається їх поділ. Сухий продукт з циклонів через живильник поступає в пневмотранспорт, очищене повітря пиловидвідним вентилятором подається в атмосферу. Циклони виконані з листової корозійностійкої сталі, в нижній частині яких встановлюються виконавчі пристрої магнітно-імпульсної установки. Складається з повітряного фільтру, охолоджувача (системи нагріву), вентиляторів і системи повітряних проводів. Фільтр повітря призначений для очищення повітря і поділу повітряного потоку на дві магістралі. Охолоджувач призначений для охолодження і осушення повітря, що подається в зону охолодження.

Фільтри виконані знімними і змонтовані в корпусі. На бічній поверхні охолоджувача виведені патрубки калорифера для подачі і відведення крижаної води.

5. ЕКОНОМІЧНІ РОЗРАХУНКИ

Економічний ефект використання розробленого обладнання можливо виразити в грошовому еквіваленті. Вартість стандартного сушильного апарату в базовій комплектації в середньому складає 406 000 грн. вартість готового продукту: суха кров 210 грн/кг.

Робочий період підприємства середньому складає робочих днів на рік. Добова потужність виробництва сухої крові при 8 годинній роботі підприємства складає 40 кг, модернізованого апарату 43 кг. Планова чисельність робочих складає 2 людини.

Розрахунок собівартості продукції:

1. Сировина. Для стандартного сушильного апарату річна потреба становить:

$$\frac{236 \cdot 100 \cdot 40}{152} = 6210,50 \text{ кг}$$

Вартість 1 тонни – 12420 грн. Враховуючи транспортно-заготівельні витрати (ТЗР=3%) витрати в рік становлять:

$$\frac{6210,50 \cdot 24 \cdot (100 - 3)}{100} = 144\,580,50 \text{ грн/рік}$$

Для модернізованого апарату річна потреба:

$$\frac{236 \cdot 100 \cdot 43}{152} = 10148,00 \text{ кг}$$

Враховуючи транспортно-заготівельні витрати (ТЗР=3%) витрат рік становлять:

$$\frac{10148,00 \cdot 24 \cdot (100 - 3)}{100} = 236245,50 \text{ грн/рік}$$

2. Заробітна платня і відрахування на соціальне страхування. Річний фонд заробітної платні становить:

$$6500 \text{ грн} \cdot 12 \text{ місяців} = 78000,00 \text{ грн}$$

Відрахування на соціальне страхування (36%) – 28080,00 грн.

$$\text{Всього } 78000,00 + 28080,00 = 106080,00 \text{ грн/рік}$$

3. Амортизація.

А) Для стандартного сушильного апарату вартість обладнання 406000,00 грн.

Амортизація обладнання складає 12 % 48720,00 грн

Амортизація виробничих приміщень 120 000, 00 грн.

Всього $48720,00 + 120\,000,00 = 168720,00$ грн/рік

Б) Для модернізованого апарату:

Вартість обладнання складає $406\,000,00 + 28000,00 = 434000,00$ грн

Амортизація обладнання складає 12 % 52080,00 грн

Амортизація виробничих приміщень 120 000, 00 грн.

Всього $52080,00 + 120\,000,00 = 172080,00$ грн/рік

4. Витрати електроенергії.

А) Для стандартного сушильного апарату річна витрата електроенергії на виробництво складає:

$236 \cdot 9 \cdot 40 = 84960$ кВт. Тариф за 1 кВт електроенергії – 27,30 грн.

Вартість електроенергії складає 4 697784,00 грн/рік

Б) Для модернізованого апарату:

$236 \cdot 7 \cdot 43 = 71036$ кВт. Тариф за 1 кВт електроенергії – 27,30 грн.

Вартість електроенергії складає 1 939282,80 грн/рік

5. Загальні витрати на виробництво:

А) Для стандартного сушильного апарату:

$144580,50 + 106080 + 168720 + 4697784 = 5\,117164,50$ грн/рік

Б) Для модернізованого апарату:

$236245,50 + 168720,00 + 172080 + 1939282 = 2\,303727,50$ грн/рік

6. Собівартість 1 тонни сухої крові:

А) Для стандартного сушильного апарату:

$$\frac{5117164,50}{(236 \cdot 0,40)} = 54207,25 \text{ грн/рік}$$

Б) Для модернізованого апарату:

$$\frac{2303727,50}{(236 \cdot 0,43)} = 22809,50 \text{ грн/рік}$$

7. Річна вартість продукції :

А) Для стандартного сушильного апарату: ціна готової продукції 210 грн/кг.

$$\text{Річна вартість продукції } 210 \cdot 236 \cdot 152 = 7533120,00 \text{ грн}$$

Б) Для модернізованого апарату:

$$\text{Вартість готової продукції } 240 \text{ грн/кг}$$

$$\text{Річна вартість продукції } 240 \cdot 236 \cdot 161,5 = 9174360,00 \text{ грн}$$

8. Прибуток складає:

А) Для стандартного сушильного апарату:

$$7533120 - 5117164,50 = 2415955,50 \text{ грн за рік}$$

Б) Для модернізованого апарату:

$$9174360,00 - 2303727,50 = 6870632,50 \text{ грн за рік}$$

9. Рентабельність

А) Для стандартного сушильного апарату:

$$\left(\frac{2415955,50}{7533120,00} \right) \cdot 100\% = 32,07\%$$

Б) Для модернізованого апарату:

$$\left(\frac{6870632,50}{9174360,00} \right) \cdot 100\% = 74,88\%$$

10. Термін окупності:

А) Для стандартного сушильного апарату:

$$\frac{2415955,50}{120000} = 2,2 \text{ рік}$$

Б) Для модернізованого апарату:

$$\frac{6870632,50}{207000} = 3,3 \text{ рік}$$

Таким чином, модернізований сушильний апарат дозволяє збільшити прибуток підприємства та рентабельність.

6. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ОХОРОНА ДОВКІЛЛЯ

6.1. Охорона праці

Правовою основою законодавства щодо охорони праці є Конституція України, Закони України: “Про охорону праці” (із доповненнями та змінами затвердженими Верховною Радою України і введені Указом Президента України 21 листопада 2002 року №229-IV; вступив в силу 17 грудня 2002 року), “Про охорону здоров’я”, “Про пожежну безпеку”, “Про використання ядерної енергії та радіаційний захист”, “Про забезпечення санітарного та епідеміологічного благополуччя населення”, а також Кодекс законів про працю України (КЗпП).

Згідно закону, усі працівники підлягають обов'язковому соціальному страхуванню від нещасних випадків і професійних захворювань власником або органом, що ним уповноважений. Страхування здійснюються в порядку і мовами, що визначаються законодавством і колективним договором (угодою, трудовим договором).

Інструктажі. Ввідний інструктаж кожного, хто наймається на підприємство проводить інженер з охорони праці для ознайомлення з характером виробництва, джерелами небезпеки і шкідливими факторами. Інструктаж на робочому місці проводить майстер ділянки з кожним робітником для ознайомлення з будовою обладнання, безпечною організацією робочого місця, змістом інструкцій з техніки безпеки при роботі з даним обладнанням [91].

Періодичний інструктаж по безпечним методам роботи проводять з усіма робітниками, незалежно від їх кваліфікації і стану роботи по даній професії через кожні 3... 6 місяців. Позаплановий інструктаж необхідний, коли змінений технологічний процес, є нещасні випадки, порушення інструкцій з техніки безпеки.

Цільовий інструктаж проводиться у випадку переходу працівника на деякий час на іншу роботу.

Оформлюється кожний вид інструктажу у встановленому порядку з обов'язковим підписом у відповідному журналі. Робітники, які не пройшли

інструктаж з техніки безпеки, до роботи не допускаються.

Аналіз основних технологічних процесів і обладнання з метою виявлення найнебезпечніших і шкідливих чинників для працівників та їх нормування.

Залежно від призначення й умов експлуатації в сушарках повинен бути передбачений захист обслуговуючого персоналу від впливу наступних небезпечних і шкідливих виробничих факторів:

1. забрудненого повітря, що відводиться з сушарки;
2. загорянь, застосовуваних у технологічному процесі речовин і матеріалів;
3. підвищеного вмісту шкідливих речовин у повітрі робочої зони;
4. підвищеної температури поверхні обладнання;
5. підвищеної вологості повітря;
6. недостатнього освітлення робочих місць;
7. підвищеного шуму й вібрації.

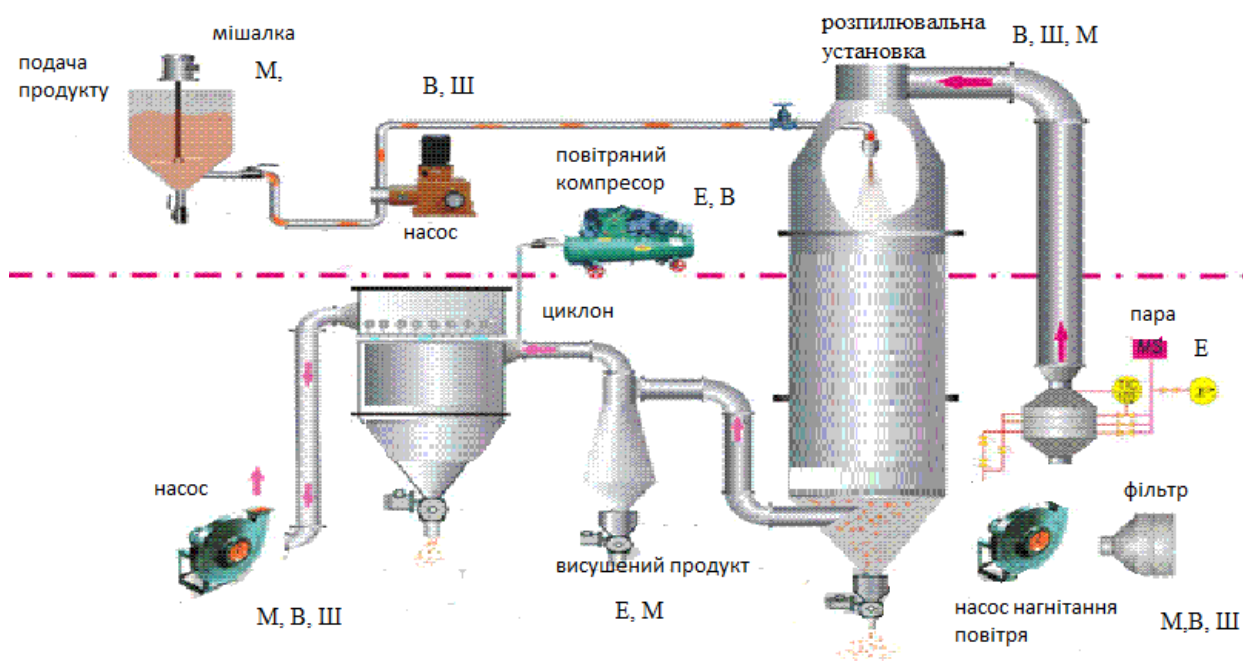


Рис. 6.1 Апаратурна схема розпилювальної сушарки, умовні позначення шкідливих і небезпечних факторів.
В – вібрація; Ш – шум; МТ – механічні травми; Е – електробезпека;

Таблиця 6.1

Оптимальні і допустимі норми температури, відносної вологості і швидкості руху повітря в робочій зоні виробничого приміщення

Період року	Температура °C					Відносна вологість, %		Швидкість руху, м/с	
	Оптимальна	допустима				Оптимальна	Допустима на робочому місці постійному і непостійному	Оптимальна	Допустима на робочому місці постійному і непостійному
		Верхня границя	На робочому місці		Нижня границя				
		Постійному	Непостійному	Постійному	Непостійному				
Холодний	21-23	25	26	20	17	40-60	75	0.1	<0,2
Теплий	22-24	28	30	22	20	40-60	60 при 27°C	0,2	0,2-0,3

Метеорологічні умови. Мікроклімат. Нормування параметрів мікроклімату встановленні в документі ДСН 3.3.6.042-99. Метеорологічні умови виробничих приміщень визначаються такими параметрами: температурою повітря в приміщенні, °C; відотною вологістю повітря, %; рухливістю повітря, м/с; тепловим випромінюванням Вт/м, ГОСТ 12.1.005-88 «Загальні санітарно-гігієнічні вимоги к повітрю робочої зони». Оптимальні і допустимі норми температури, відносної вологості і швидкості руху повітря в робочій зоні виробничого приміщення наведені в таблиці 6.1.

Виробнича санітарія. Особливістю експлуатації технологічного обладнання, переробного сировина тваринного походження, є високі санітарні вимоги до його конструкції. Робочі органи розпилювальної сушарки конструктивно виконані так, що при самих несприятливих умовах експлуатації виключена можливість проникнення в робочу зону сторонніх

предметів: мастил, іржі або металевого пилу, одержуваної в результаті зносу деталей. Конструктивні матеріали проекрованої установки при контакті з харчовими продуктами не утворюють домішок, які надають згубний вплив на здоров'я людини і погіршують якість продукції. Для запобігання попадання мастильних матеріалів у продукт, на валу передбачені сальники. В робочій камері сушарки на одній із стінок башти, закріплена мембрана виготовлена з тонкого металу. Вона передбачена на випадок виникнення аварійної ситуації. У разі перевантаження мембрана розривається і тим самим не допускає пошкодження камери.

Для нормального проведення технологічного процесу в сушильній установці передбачається ряд контрольно-вимірювальних та запобіжних пристроїв. Для запуску та роботи електроприводів та вентиляторів застосовується автоматика для пуску, зупинки та контролю роботи. Всередині сушильної камери проводиться контроль абсолютно сухого повітря, що подається. З умов техніки безпеки та екології висушений матеріал не контактує із зовнішнім середовищем.

При виході з сушильної башти відпрацьоване повітря через недостатнє очищення повертається у повітрохід, по якому подається до батареї циклонів, і тільки після цього викидається в атмосферу. З умов техніки безпеки сушильна башта обладнана ізоляцією, що забезпечує температуру зовнішньої стінки +40°C.

Освітлення. Всі робочі місця у цеху забезпечуються природнім та запроектованим штучним освітленням, достатнім для проведення технологічного процесу, а також для ремонту і обслуговування обладнання [91].

Для освітлення виробничих приміщень використовується світильники типу НОБ-300, вибухозахищені, в санітарно-побутових кімнатах застосовані лампи білого світла ЛБ, відповідає вимогам ГОСТ 18.384-81. Для розряду зорової роботи підрозряду Г, встановлені такі норми освітленості. При

комбінованому освітленні (газорозрядні лампи та лампи розжарювання) – 200 лк. При загальному освітленні (газорозрядні лампи) - 75 лк. При загальному освітленні (лампи розжарювання) - 100 лк.

Передбачене джерело понижуючої напруги (24 В) для вмикання переносних світильників і ручного електроінструменту. Крім робочого освітлення передбачене аварійне освітлення, світильники якого повинні бути включені на протязі всього часу горіння робочого освітлення і мати відмітні знаки. Аварійне освітлення необхідне для продовження роботи і повинно забезпечувати на робочих місцях не менше 5 % освітленості від встановлених норм при системі загального освітлення. Аварійне освітлення для евакуації людей повинне забезпечувати освітленість на підлозі основних проходів і на сходах в приміщенні не менше 5 лк.

Допустимі норми шуму Для промислових підприємств, де є обладнання, що створює шум, згідно з ГОСТ 12.1.003-86 „Шум. Общие требования безопасности” [93].

Основним джерелом шуму в розпилювальних дискових сушарках є спрацювання радіально-упорних підшипників приводу робочого органу внаслідок високої частоти обертання. Також шум в даній сушарці створює робочий орган – розпилювальний диск. В результаті розпилення сировини створюється гідравлічний опір, який і спричиняє шум. В цеху джерелами струму є вентилятори, насоси, сушильна установка, циклони.

Заходи по боротьбі з шумом і вібраціями можна розділити на дві основні групи: організаційні і технічні. Основними організаційними заходами є:

- **мінімальні динамічні навантаження, правильний монтаж обладнання;**
- **правильна експлуатація обладнання, своєчасне проведення ремонтів;**
- **проведення санітарно-профілактичних заходів (раціональні**

режими праці і відпочинку, профогляди та ін.) для працюючих.

До основних технічних заходів відносять:

- **використання основ і фундаментів, що відповідають динамічному навантаженню обладнання;**
- **ізоляція фундаментів від несучих конструкцій і технологічних комунікацій;**
- **теплоізоляція трубопроводів.**

Головними напрямками боротьби з шумом є його послаблення або ліквідація безпосередньо в джерелі утворення.

Шум, вібрації. Високі рівні шуму і вібрації являються виробничими шкідниками, які приводять до професіональних захворювань, пониженню продуктивності праці і можуть бути причиною нещасних випадків.

В нашій країні допустимий тиск вимірюється по стандарту (рівень звуку та звуковий тиск в дБ А по шкалі А і середньо шумометричний тиск в дБ). Звуки різних частот не однаково впливають на людину і проникають та поглинаються через будівельні конструкції. Тому в схему шумомірів введені частотні фільтри з характеристиками А,В,С,О по кожній з яких нормується значення шуму. На практиці частіше за все користуються характеристикою А шумоміра, оскільки вона найбільше наближена до сприйняття людиною.

Крім того, деталі обладнання, що швидко обертаються, створюють вібрацію, яка через фундамент і підлогу передається людині. Аналіз параметрів на робочих місцях при нормально збалансованому обладнанні показує, що рівні вібрації не перевищують гігієнічних норм, встановлених стандартом. Всі споруди зроблені із звукопоглинаючих матеріалів. Застосовуються методи індивідуального захисту [91].

Загазованість. Загазованість відбувається під час виходу з сушарки відпрацьованого повітря, а також при завантажуванні чи розвантаженні

матеріалу. В повітря потрапляє пара, клас небезпеки 2 ($\text{ГДК}=0,5 \text{ мг/м}^3$), тому загазованість повинна періодично контролюватись (один раз на два місяці).

Пил надає несприятливий вплив на робітників, викликає передчасний знос технологічного обладнання; пилові викиди забруднюють навколишнє середовище. Виділення пилу пов'язано з втратою частини сировини і готової продукції. Більшість пилу харчових виробництв здатні утворювати з повітрям вибухонебезпечні суміші, відкладення пилу являють собою велику пожежну небезпеку [91].

Підвищення ефективності очищення становить головне завдання при розробці нових конструкцій пиловловлювачів, тобто ефективне очищення повітря в харчовій промисловості має не лише санітарно-гігієнічне, екологічне, але й економічне значення. Проблема зниження пилових викидів за умови раціональної технології і правильної експлуатації пиловловлюючих пристроїв може бути успішно вирішена, якщо для кожного виду продукту можна буде обґрунтовано вибрати пиловловлювач, який забезпечить мінімальні викиди продукту.

Заходи щодо зменшення шкідливого впливу на навколишнє середовище. Шкідливий вплив на навколишнє середовище скорочується за допомогою циклону, що входить в систему газопилоочищення даної сушильної установки. Циклон виконаний у вигляді конуса. У нижній частині якого передбачені повітроводи, сполучені з пневмотранспортом, а також шлюзовий затвор. Дана система забезпечує високий ступінь очищення циклону при забиванні, що дозволяє запобігти застою продукту і скоротити викиди в атмосферу. Конструкція сушильної установки передбачає замкнуту систему санітарної обробки і забезпечує можливість періодичного розбирання для ручного чищення та контролю. Це в свою чергу також важливо при виробництві даного продукту, так як це впливає на якість продукції.

На сьогоднішній день очищення запилених газів за допомогою

циклонів є найбільш перспективним, забезпечує найкращі показники очищення навколишнього середовища від шкідливих для здоров'я людей пилових викидів і підтримує високий рівень виробництва. А, отже, може використовуватися для якісного очищення повітря на великих підприємствах міста.

Вентиляція. У відділені передбачена природна вентиляція, а також штучна вентиляція, яка забезпечує задані параметри повітряного середовища, які повинні відповідати вимогам "Протипожежних норм" СНП 2.01.02-85, "Санітарних норм проектування промислових підприємств" СНП 245-71, "Будівельних норм та правил" СНП 2.04.05-91, СНП 2.04.07-86 і цих правил. У виробничих корпусах, при наявності вікон і ліхтарів та при відсутності виділення шкідливих газів, пари і пилу, потрібно передбачити періодично діючу природну вентиляцію, забезпечуючи при цьому дотримання норм метеорологічних параметрів повітряного середовища.

Виробнича вентиляція повинна забезпечувати достатній повітрообмін зі швидкістю руху повітря 0,2...0,3 м/с. Аварійна вентиляція повинна забезпечувати гарантований восьмикратний обмін повітря. Особливі вимоги до вентиляції-розташування вентиляторів поза виробничого приміщення та улаштування вибухозахисних бар'єрів. Природна вентиляція поділяється на бокову, верхню та комбіновану.

Електробезпека. Ділянка по виробництву сухої крові відноситься до приміщень з підвищеною небезпекою, у цеху живлення здійснюється від мережі частотою 50 Гц і напругою 220 та 380 В, і тому для попередження ураження електричним струмом робочих та службовців, що знаходяться у цеху відповідно «ДНАОП 0.00-1.32.01. Правила установки електроустановок (ПУЭ)» заходи по електробезпеці на цій ділянці передбачають:

Засоби колективного захисту: заземлення; занулення; автоматичне відключення.

Засоби індивідуального захисту поділяються : ізолюючі костюми

(пневмокостюми, скафандри); засоби захисту органів дихання (протигази, респіратори, пневмошлеми); спеціальний одяг (куртки , комбінезони, брюки, халати); засоби захисту рук (рукавиці); засоби захисту очей окуляри; засоби захисту голови, обличчя (каска, шоломи , захисні щитки).

Для забезпечення електробезпеки при обслуговуванні агрегату треба передбачити;

- прокладку електропроводів в металічних рукавах, захищаючих проводи від пошкодження;
- пристрій захисного заземлення електрообладнання, корпусу апарату і інших вузлів та деталей котрі можуть опинитися під напругою від болта з шайбою з вказанням знака “Земля” на корпусі;
- розміщення електрообладнання, апаратури і ланцюгів керування в закриваючому металічному щиті.

Перед кожним пусковим пристроєм для захисту обслуговуючого персоналу покладено діелектричні клеми та ізолюючі пристрої. На робочих місцях і поверхах сушарки встановлюють дзвоники голосного бою, які вмикаються як з пульту керування, так і з робочого місця. Пуск та зупинка машин і механізмів повинні здійснюватись з пульту керування із робочого місця. Проектом передбачений захист: людей, будівлі, обладнання і матеріалів, сировини від можливих пожеж, блискавок. На даху будівлі встановлені громовідводи діаметром 12 мм і заземлені іншим кінцем у ґрунт на глибину 5м.

Пожежна безпека. Відповідно до встановлених норм «НАПБ Б.03.002-2007 Норми визначення категорій приміщень і зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою» Виробниче приміщення, де знаходиться ділянка по виробництву відноситься до вибухо-пожежно небезпечної категорії виробництва Б.

Для тушіння пожежі на початковій стадії використовують вогнегасники. Застосовуються головним чином вуглекислотні вогнегасники

перевагою яких є висока ефективність тушіння пожеж і діелектричні властивості вуглекислого газу, кількість вогнегасників типу ВВ-5(ВВК-3,5), ВВ-28(ВВК-18) приймаються з розрахунку один вогнегасник на 100 м² площі та розміщуються на стінах. Витрати води на внутрішнє пожежогасіння приймають 5л/с.

Крім того на стіні будівлі розташований щит з пожежними інвентарям і ящик з піском. Навколо виробничого корпусу проведений пожежний водопровід. Для швидкої евакуації людей у випадку пожежі на заводі передбачені запасні виходи.

При визначенні необхідної кількості води на пожежогасіння, проводять слідує розрахунок :

$$Q_1 = \frac{3 \cdot 3600 \cdot n}{1000} [\text{м}^3]$$

де, n – кількість води на внутрішнє пожежогасіння з одного крану.

Так, як в одну точку повинно бути направлено 2 струї води, то

$$n = 2,5 \cdot 2 = 5 [\text{л/с}]$$

$$Q_1 = \frac{3 \cdot 3600 \cdot 5}{1000} = 54 (\text{м}^3)$$

Розрахунок витрат води на зовнішнє пожежогасіння у відповідності з УДіП-П-31-77 кількість води:

$$Q_2 = \frac{3 \cdot 3600 \cdot 15}{1000} = 162 (\text{м}^3)$$

Загальна кількість води складає:

$$Q = Q_1 + Q_2, Q = 54 + 162 = 216 (\text{м}^3)$$

Необхідна кількість вогнегасників в цеху виробництва напівфабрикатів дорівнює: на 250 м² беремо 1 вогнегасник типу ОП-5. Розраховуємо скільки потрібно вогнегасників на площу 320 м², отже, необхідно 2 вогнегасника ОП-5 та 2 – ОУ-2.

Техніка безпеки при обслуговуванні обладнання. Основні засоби безпеки при веденні технологічного процесу: виробничий персонал веде

°C,
покриті тепловою ізоляцією; у відповідності із затвердженим графіком виконується періодична чистка вентиляційної системи.

Для персоналу електрогосподарств найважливішим питанням техніки безпеки є електробезпека, яка являє собою систему організаційних технічних заходів та засобів, що забезпечують захист людей від шкідливого та небезпечного впливу електричного струму, електричної дуги, електричного поля і статичної електрики. Застосовують такі методи і засоби щодо запобігання ураженню людини електричним струмом. Захисні огорожі, щоб виключити можливість дотику або небезпечного наближення до ізольованих струмоведучих частин. Необхідно забезпечити їх недосяжність за допомогою огорож, блокувань та розташування на недосяжній висоті або в недоступному місці. Огорожі застосовуються як суцільні так і сітчасті (сітка 25x25мм) [91].

Використовують також захисне заземлення. Це примусове електричне з'єднання із землею або її еквівалентом металевих не струмоведучих частин електроустановок, корпусів та оболонок, конструкцій, огорожень та інші, які можуть опинитися під напругою внаслідок пошкодження ізоляцій. Основна мета захисного заземлення полягає в тому, щоб знизити до безпечної величини напругу відносно землі, яка виникає на не струмоведучих металевих частинах електроустановок при пошкодженні ізоляцій або

відповідному з'єднанні із струмоведучими частинами. Безпека забезпечується шляхом заземлення корпусу заземлювача, що має малий опір і малий коефіцієнт напруги дотику.

Для запобігання виникнення захворювань і травматизму потрібно: ліквідувати протяги; біля обладнання, яке експлуатується, розмістити інструкцію по експлуатації; огородити рухомі частини і пофарбувати огорожі в червоний колір; на видному місці розмістити план евакуації з виробничого персоналу в разі виникнення надзвичайних ситуацій.

6.2. Охорона довкілля

Під охороною навколишнього середовища розуміється система заходів, направлена на підтримку раціональної взаємодії людського суспільства і навколишнього природного середовища, що забезпечує збереження і відновлення навколишніх природних багатств, раціональне використання природних ресурсів, прямий і непрямий вплив результатів діяльності суспільства на природу і здоров'я людини.

Охорона навколишнього середовища представляє вельми багатогранну проблему, для вирішення якої формуються і приймаються державні програми, ухвали і закони, основним з яких є "Закон про охорону навколишнього природного середовища" від 19 грудня 1991 року, в якому сформульовані екологічні вимоги до джерел техногенних дій на природне середовище і здоров'я людини. При розміщенні, проектуванні і будівництві систем і споруд згідно СНІП 11.01-95 необхідно враховувати наявність на освоєній території джерел несприятливих техногенних дій і різноманітні види дій на всі елементи природного середовища. Це дозволить зробити прогноз можливих змін, прослідкувати "ланцюгові реакції", що відбуваються в природі в результаті інженерно-господарських дій, передбачити небажані зміни і застосувати комплекс заходів щодо охорони природного середовища і заходу щодо захисту територій, будівель і споруд від небезпечних природних і техногенних процесів [94].

Сушарка відноситься до тих апаратів харчової промисловості, котрі максимально можливо нешкідливі для навколишнього середовища. Це зумовлено тим, що в конструкції апарата не передбачено будь яких елементів які не відповідають стандартам.

Єдине джерело забруднення навколишнього середовища сушаркою – це забруднення повітря. Це джерело забруднення ліквідується тим, що перед тим як повітря викидається в атмосферу воно проходить рукавні фільтри. Усі джерела викидів забрудненого повітря обладнані системою двоступеневої фільтрації. Ступінь очищення повітря – 99,5%. Заміна фільтрів залежить від перепаду тиску. Якщо перепад тиску на фільтрі перевищує встановлене значення для даного рейтингу фільтр потрібно замінити на новий. Апаратурне оформлення процесу виробництва виконане так, що виключаються технологічні викиди в атмосферу і викиди з системи загально обмінної вентиляції [94].

Системи загально обмінної вентиляції оснащені спеціальними високоефективними фільтрами очищення повітря. В процесі виробництва можливі технологічні викиди в атмосферу від систем місцевих відсмоктувань і в незначній кількості від систем загально обмінної вентиляції. Системи місцевих відсмоктувань і частина систем загально обмінної вентиляції забезпечені блоком очищення повітря від технологічного пилу. До складу цього блоку входить ряд фільтрів, ефективність фільтрації яких підбирається таким чином, що дозволяє викидати в атмосферу повітря з допустимим вмістом домішок. Фільтри забезпечені системою контролю диференціального тиску, показники якої є критерієм забивання фільтру і сигналом для його заміни.

ВИСНОВКИ

В даній магістерській роботі проведений аналіз сучасного стану об'єкту дослідження, вибір і обґрунтування основного напрямку дослідження, зроблено обґрунтування актуальності дослідження.

У 2 розділі проведений опис предмета дослідження – процес висушування крові, об'єкта – розпилювальний апарат, та методи дослідження – аналітичні.

У 3 розділі проведений опис математичної моделі, розрахунок обраного рівняння швидкості витання частинки, створено геометричну модель. За допомогою програмного комплексу Flow Vision проведено моделювання процесу. Запропоновано технічне рішення по вдосконаленню конструкції обладнання, а саме застосування розподільчого елементу та зміну пластин розпилювального диску.

На основі проведеного моделювання процесу руху сушильного агенту і часточок продукту в розпилювальному сушильному апараті отримали розподіл швидкостей всередині башти у вигляді ізоліній (рис.3.21), векторів (рис. 3.22), та у вигляді спалахів (рис 3.24).

Проаналізувавши отримані дані можна зробити висновок, що при запропонованій конструкції забезпечують рівномірний розподіл потоків повітря і продукту в циліндричній частині башти сушильного апарату. Найбільш високі значення температури спостерігаються у верхній частині апарату, куди подається гарячий сушильний агент. При контакті з продуктом і розподіленні по об'єму апарату температура повітря знижується. На рис. 3.26 показано розподілення густини повітря по об'єму апарату. Найбільше значення густини є в нижній частині апарату, внаслідок зниження температури, в цій же зоні підвищується концентрація частинок продукту. Отримано графік зміни основних параметрів в розпилювальному сушильному апараті (рис. 3.19).

При розрахунку техніко-економічних показників обґрунтовано, що дане технічне рішення доцільно впроваджувати у виробництво тому що є технічно і економічно ефективним.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Шморгун В.В. Энергоеффективность распылительных сушилок, пути их модернизации. Институт технической теплофизики НАН Украины, Пром. теплотехника, 2007, т. 29,
2. Михалева Т.В., Попов В.П, Зинюхин Г.Б., Т.М. Крахмалева «Процессы распылительной сушки в нестационарных аэродинамических потоках». Монография / Оренбург, 2015 – 168с.
3. Шутюк В.В. Науково-методологічні засади ресурсозбереження енерготехнологічних комплексів сушіння харчових продуктів. Дисертація, Київ 2016, - 349 с.
4. Губа О.Е. Совершенствование и научное обоснование способа сушки яичных продуктов. Диссертация. Астрахань, 2015
5. Плановский А.И., Муштаев В.И., Ульянов В.М., Сушка дисперстных материалов в химической промышленности. – М.: химия, 1979. – 288 с.
6. Сажин Б.С. Основы техники сушки. – М.: Химия, 1984. – 320 с.
7. Кремнев О.А., Боровский В.Р., Долинский А.А., Скоростная сушка. – Киев: Гостехиздат УССР, 1963. - 381 с.
8. Малежик І.Ф., Марценюк О.С. Процеси і апарати харчових виробництв. Курсове проектування. – Київ НУХТ 2012
9. Ивашов В.И. Технологическое оборудование предприятий мясной промышленности. – Санкт-Петербург ГИОРД 2010.
10. Притыко В.П. Лунгрэн В.Г. Машины и аппараты молочной промышленности. – Москва, Пищевая промышленность, 1979.
11. Лыков А.В. Теория сушки / А.В. Лыков.– М.: Энергия, 1968. -267 с.
12. Пат. на полезную модель 150305 РФ, МПК F26B 5/00 (2006.01). Распылительная сушилка [Текст] / И.Ю. Алексанян, Э.П. Дяченко, Ю.А. Максименко, Н.П. Васина, Ю.С. Феклунова, Э.Р. Теличкина, П.И. Григорьев;

Патентообладатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Астраханский государственный технический университет" (ФГБОУ ВПО "АГТУ"). – 2014126288/28; заявл. 27.06.2014; опубл.10.02.2015, Бюл. № 4.

13. Тепло- и массообменные распыливающие аппараты для получения химических реактивов и особо чистых веществ: Обзор. сер. Реактивы и особо чистые вещества / А.П. Фокин, Е.В. Балашов, Е.С. пирогов и др. – М. : НИИИТЭХИМ, 1980. – 65с.

14. Губа, О.Е. Разработка рациональных способов конвективной сушки для жидких продуктов [Текст] / О.Е. Губа, Ю.А. Максименко, С.А Терешонков // Журнал. Пищевая промышленность. № 10. Москва: Изд-во «Пищевая промышленность», 2010 г. С. 24 – 25.

15. Бессарабов, А. М. Моделирование высокоинтенсивных процессов сушки в технологии особо чистых веществ [Текст] / А.М. Бессарабов, Т.А. Николенко, Д.А. Баранов, А.Г. Вендило // V Международный научно-технический симпозиум «Современные энергосберегающие тепловые технологии (Сушка и термовлажностная обработка материалов (СЭТТ – 2014)). – Иван. гос. хим.-технол. ун-т. –Иваново, 2014. – С. 29 – 33.

16. Харитонов В.Д., Грановский В.Я., Левераш В.И., Хомяков А.П. Пути повышения эффективности сушки молочных продуктов. – М.: АгроНИИТЭИММП, 1986. – 32 с.

17. Аэродинамика теплоносителя и математическая модель тепло- и массообмена в прямоточных распылительных сушилках / А.П. Хомяков, В.И. Левераш и др. // Тр. СвердНИИхиммаша: Оборудование для оснащения технологических производств. – Екатеринбург: СвердНИИхиммаш, 1995. – Вып. 2 (66). – С. 54–66.

18. Муштаев В.И., Ульянов В.М. Сушка дисперсных материалов. – М.: Химия, 1988. – 352 с.

19. Файвишевский М.Л. Переработка крови убойных животных. –

Москва 1988.

20. Федоров Д.Е. Разработка низкотемпературной технологии выделения гемоглобина из крови убойных животных. Диссертация Кемерово 2014, 133 с.

21. ГОСТ 8115-73 Альмубин черный технический. Технические условия.

22. O'Callaghan D. Modern process control techniques in the production of dried milk products — areview / D. O'Callaghan, P. Cunningham // Le Lait. — 2005. — Vol. 85 (4—5). — P. 335—342.

23. Гришин М.А., Атаназевич В.И., Семенов Ю.Г. Установки для сушки пищевых продуктов. Справочник. Москва ВО «АГРОПРОМИЗДАТ» 1989.

24. Хомяков А.П., Харитонов В.Д. Математическая модель расчета прямоточных распылительных сушилок. Известия вузов. Пищевая технология, №1, 2005. – 84 -88 с.

25. Чагин, О.В. Оборудование для сушки пищевых продуктов / О.В. Чагин, Н.Р. Кокина, В.В. Пастин: Иван. хим. - технол. ун-т. – Иваново, 2007. - 138 с.

26. Плановский, А.Н. Сушка дисперсных материалов в химической промышленности [Текст] / А.Н. Плановский, В.И. Муштаев, В.М. Ульянов. - М.: Химия, 1979. - 288 с.

27. Рудобашта, С.П. Математическое моделирование процесса сушки дисперсных материалов [Текст] / С.П. Рудобашта // Известия Академии наук. Энергетика. - 2000. - № 4. - С. 98-109.

28. Плановский А.И., Муштаев В.И., Ульянов В.М. Сушка дисперсных материалов в химической промышленности. – М.: Химия, 1979. – 288 с.

29. Геврик Є. О. *Охорона праці*. - К: Ельга, Ніка-Центр, 2003. - 280 с.