

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет) _____ **ІНІТІ ім. акад. І.С. Гулого**
Кафедра _____ **технологічного обладнання та комп'ютерних технологій**
проектування

«До захисту в ЕК»
Директор інституту(декан факультету)

(підпис) **Сергій БЛАЖЕНКО**
(ім'я та прізвище)

«__» _____ 20__р.

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри

(підпис) **Микола ЯКИМЧУК**
(ім'я та прізвище)

«__» _____ 20__р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА

зі спеціальності _____ **133 «Галузеве машинобудування»**
(код та назва спеціальності)
освітньо-професійної програми _____ **Інжиніринг харчових виробництв**

На тему :_ Визначення раціонального підведення сушильного агенту в розпилювальну сушарку з метою інтенсифікації процесу сушіння.

Виконав: здобувач 2 курсу, групи ЗОХ-2-2М

Бережинський Микола Володимирович
(прізвище, ім'я, по батькові повністю) _____ (підпис)

Керівник Слюсенко Андрій Михайлович
(прізвище, ім'я та по батькові повністю) _____ (підпис)

Консультанти _____
(ім'я та прізвище) _____ (підпис)

_____ (ім'я та прізвище) _____ (підпис)

_____ (ім'я та прізвище) _____ (підпис)

Рецензент _____
(ім'я та прізвище) _____ (підпис)

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

Здобувач _____
(підпис)

Київ - 2024_р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Навчально-науковий інженерно-технічний інститут ім. акад. І.С.Гулого

Кафедра Технологічного обладнання та комп'ютерних технологій проектування

Освітній ступінь магістр

Спеціальність 133 «Галузеве машинобудування»

(шифр і назва)

Освітня програма «Інжиніринг харчових виробництв»

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТОКТП

проф. Микола ЯКИМЧУК

« ____ » _____ 20 ____ року

З А В Д А Н Н Я **НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА**

Бережинського Миколи Володимировича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Визначення раціонального підведення сушильного агенту в розпилювальну сушарку з метою інтенсифікації процесу сушіння

керівник проекту (роботи) Слюсенко Андрій Михайлович, PhD

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від «08» листопада 2023 р. № 918-кс

2. Строк подання здобувачем роботи 01.02.2024р.

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

2. Альбом галузевого обладнання. 3. Навчальна та спеціальна література

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):
Реферат; Зміст; Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів (за необхідністю); Вступ; Аналіз сучасного стану об'єкта дослідження, вибір і обґрунтування основного напрямку дослідження; Розробка нового технічного рішення об'єкта дослідження; Дослідна частина та узагальнення результатів; Розрахункова частина; Принципи автоматизованого управління об'єктом проектування; Заходи з охорони праці та охорони довкілля; Маркетингове обґрунтування проекту; Висновки; Список використаних джерел; Додатки

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

Загальний вигляд обладнання – 1 аркуш; Деталі та вузли обладнання – 1 аркуш;

Схема автоматизації – 1 аркуш; Технологічна карта збирання вузла – 1 аркуш;

Наукова частина – 6 аркушів.

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання: _____.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ /п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітка
1	<i>Вступ</i>	14.11.2023	
2	<i>Аналіз сучасного стану об'єкта дослідження, вибір і обґрунтування основного напрямку дослідження</i>	20.11.2023	
3	<i>Розробка нового технічного рішення об'єкту дослідження</i>	26.11.2023	
4	<i>Дослідна частина та узагальнення результатів</i>	03.12.2023	
5	<i>Розрахункова частина</i>	14.12.2023	
6	<i>Принципи автоматизованого управління об'єктом проектування</i>	21.12.2023	
7	<i>Заходи з охорони праці та охорони довкілля</i>	26.12.2023	
8	<i>Маркетингове обґрунтування проекту</i>	03.01.2024	
9	<i>Висновки</i>	11.01.2024	
10	<i>Список використаних джерел</i>	16.01.2024	
11	<i>Додатки</i>	20.01.2024	
12	<i>Графічна частина формату А1 – 10 шт.</i>	25.01.2024	
13	<i>Подача кваліфікаційної роботи на кафедру</i>	01.02.2024 р.	

Здобувач

_____ Микола БЕРЕЖИНСЬКИЙ
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ Андрій СЛЮСЕНКО
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота на тему «Визначення раціонального підведення сушильного агенту в розпилювальну сушарку з метою інтенсифікації процесу сушіння» присвячена підвищенню ефективності роботи розпилювальної сушарки за рахунок усунення (зниження) ймовірності налипання вологого продукту на її стінки. Дослідження, які направлені на усунення даного недоліку є актуальними.

Для проведення наукових досліджень в кваліфікаційній роботі використано підходи обчислювальної гідродинаміки (CFD), які реалізовані в ліцензійній академічній версії програми Ansys CFX.

В роботі висвітлені результати імітаційного моделювання при підведенні сушильного агенту в сушарку через патрубки круглого та прямокутного поперечного перерізу із різною їх кількістю. Також розглянуто випадок комбінованого підведення сушильного агенту, який і є найбільш раціональним, через патрубок круглого поперечного перерізу та патрубки (канали) прямокутного поперечного перерізу.

Кваліфікаційна робота складається з пояснювальної записки на _84_ сторінках формату A4 та графічної частини на 10 аркушах формату A1.

Ключові слова: сушарка, продукт, гідродинаміка, моделювання, розпилення, сушильний агент.

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Слюсенко А.М.	Вид документа Пояснювальна записка		Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Бережинський М.В.	Назва, додаткова назва Реферат	22-2134.KP.07.000.ПЗ				
	Документ затверджено Якимчук М.В.		Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 1/2	

ABSTRACT

The qualification work on the topic "Determining the rational introduction of the drying agent into the spray dryer in order to intensify the drying process" is devoted to increasing the efficiency of the spray dryer by eliminating (reducing) the probability of wet product sticking to its walls. Research aimed at eliminating this shortcoming is relevant.

Computational fluid dynamics (CFD) approaches, which are implemented in the licensed academic version of the Ansys CFX program, were used to conduct scientific research in the qualification work.

The paper highlights the results of simulation modeling when the drying agent is supplied to the dryer through round and rectangular cross-section pipes with different amounts. Also considered is the case of the combined supply of the drying agent, which is the most rational, through a pipe of round cross-section and pipes (channels) of rectangular cross-section.

The qualification work consists of an explanatory note on 84 pages of A4 format and a graphic part on 10 sheets of A1 format.

Keywords: dryer, product, hydrodynamics, modeling, spray, drying agent.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1.АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ОБ’ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ, ВИБІР І ОБГРУНТУВАННЯ НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	10
1.1 Призначення та види сушіння.....	10
1.2 Класифікація сушарок.....	11
1.3 Конструкції розпилювальних сушарок.....	11
1.4 Висновки.....	23
2. РОЗРОБКА НОВОГО ТЕХНІЧНОГО РІШЕННЯ ОБ’ЄКТУ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	24
2.1. Гідромеханічні процеси в сушильних камерах розпилювальних сушарок	24
2.2. Висновки.....	28
3. ДОСЛІДНА ЧАСТИНА ТА УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ...29	
3.1. Об’єкт та предмет досліджень.....	29
3.2. Опис імітаційної моделі об’єкту досліджень та методика проведення досліджень.....	29
3.3. Результати наукових досліджень та їх аналіз.....	32
3.4. Устрій та принцип роботи модернізованого об’єкту проектування.....	49
3.5. Висновки.....	51
4. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА.....	53
4.1. Вихідні дані для проведення розрахунків	53
4.2. Розрахунок продуктивності сушарки по сировині та висушеному матеріалу.....	53
4.3. Визначення основних параметрів вологого повітря.....	54

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Слюсенко А.М.	Вид документа Пояснювальна записка		Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Бережинський М.В.	Назва, додаткова назва Зміст	22-2134.KP.07.000.ПЗ				
	Документ затверджено Якимчук М.В.		Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 1/2	

4.4. Визначення витрати повітря в сушарці.....	55
4.5. Тепловий розрахунок.....	56
4.6. Розрахунок основних робочих параметрів.....	58
4.7. Підбір конструкційних матеріалів.....	61
4.8. Технологія машинобудування.....	61
4.9. Правила монтажу та технічного сервісу модернізованого обладнання.....	66
5. ПРИНЦИПИ АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ ОБ'ЄКТОМ ПРОЕКТУВАННЯ.....	70
6. ЗАХОДИ З ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА ОХОРОНИ ДОВКІЛЛЯ.....	73
6.1 Заходи з охорони праці.....	73
6.2 Заходи з охорони довкілля	75
7. МАРКЕТИНГОВЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ.....	78
ВИСНОВКИ.....	82
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	83
ДОДАТКИ.....	85

ВСТУП

Актуальність теми. Видалення вологи (сушіння) з вологих матеріалів є важливою частиною процесу виробництва багатьох харчових та нехарчових (технічних) продуктів. Розробка сушильного обладнання та технологій виробництва різноманітної продукції спрямована, перш за все, на отримання високоякісної продукції при мінімальних енерговитратах.

Широкого поширення для сушіння рідких матеріалів набули розпилювальні сушарки. Основною проблематикою розпилювальних сушарок являється налипання вологого продукту на її внутрішні стінки, що призводить до зниження продуктивності обладнання та якості продукту. Тому роботи, які направлені на зниження (усунення) ймовірності налипання вологого продукту на стінки розпилювальної сушарки, є актуальними.

Об'єкт дослідження - гідродинаміка потоків (рідини, газу та їх суміші) в розпилювальній сушарці СРЦ.

Предмет дослідження - розпилювальна сушарка СРЦ

Мета роботи. Метою кваліфікаційної роботи є визначення раціонального підведення сушильного агенту в розпилювальну сушарку з метою інтенсифікації процесу сушіння.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному:

- сформовано числову модель для проведення CFD моделювання гідродинаміки потоків у розпилювальній сушарці з тангенційним підведенням сушильного агенту;
- отримано дані щодо впливу конструктивного виконання підведення сушильного агенту на гідродинамічну обстановку в розпилювальній сушарці;
- науково обґрунтовано раціональне виконання підведення сушильного агенту в розпилювальну сушарку.

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Слюсенко А.М.	Вид документа Пояснювальна записка		Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Бережинський М.В.	Назва, додаткова назва Вступ	22-2134.KP.07.000.ПЗ				
	Документ затверджено Якимчук М.В.		Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 1/2	

Практичне значення одержаних результатів полягає в:

- формулюванні рекомендації щодо раціонального конструктивного виконання підведення сушильного агенту в розпилювальну сушарку;
- розробці вдосконаленої конструкції розпилювальної сушарки.

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

1.1. Призначення та види сушіння

Сушіння - це процес видалення вологи з рідких та твердих матеріалів за рахунок її випаровування. При цьому сухим матеріалам можна надати необхідні властивості: розчинність, в'язкість, густину, тощо. Сушіння - це складний дифузійний процес, швидкість якого залежить від швидкості дифузії вологи з глибини матеріалу, що висушується. Оскільки цей процес відбувається після введення тепла, то це обмін теплом і масою.

Видалити вологу з матеріалу можна механічними способами (пресуванням, відстоюванням, фільтруванням, центрифугуванням). Більш повне зневоднення досягається випаровуванням вологи і видаленням утвореної пари, тобто тепловим сушінням. Часто це остання операція у виробництві перед випуском кінцевого продукту. В даний час початкове видалення вологи часто здійснюється більш дешевими механічними методами (наприклад, фільтруванням), а в кінці - сушінням. Цей комбінований метод сушіння робить процес більш ефективним.

За способом нагрівання сухого матеріалу можна виділити наступні види сушіння:

- конвекційне сушіння - безпосередній контакт сушильного матеріалу з сушильним агентом;
- контактне сушіння - з передачею тепла від рідини до матеріалу через бар'єр;
- сушіння випромінюванням - шляхом передачі тепла інфрачервоним випромінюванням;

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Слюсенко А.М.	Вид документа Пояснювальна записка		Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Бережинський М.В.	Назва, додаткова назва Аналіз сучасного стану об'єкта дослідження, вибір і обґрунтування напрямку дослідження	22-2134.KP.07.001.ПЗ				
	Документ затверджено Якимчук М.В.		Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 1/14	

- діелектричне сушіння - шляхом нагрівання в полі струму високої частоти;
- сублімаційне сушіння - висушування в замороженому стані у вакуумі.

Сушіння використовується в багатьох технологічних процесах для отримання сипучих або гранульованих продуктів із сировини. У харчовій промисловості сушарки використовують для отримання сушених плодів і овочів, сухої крові та молока, тощо.

1.2. Класифікація сушарок

У харчовій промисловості використовуються різні сушарки, а також різне сушильне обладнання. Сушарки можна класифікувати за різними характеристиками (табл. 1.1).

Таблиця 1.1. Класифікація сушарок

Класифікуючі ознаки	Типи сушарок
Режим роботи	Періодичної і безперервної дії
Спосіб передачі тепла	Кондуктивні, опромінюючі, конвективні, високочастотні
Сушильний агент	Повітряні, із застосуванням топкових газів, перегрітої пари
Тиск в сушильній камері	Атмосферні, вакуумні, глибоко вакуумні
Варіант сушильного процесу	З нормальним процесом, з підігрівом в середині камери, проміжним підігрівом
Циркуляція сушильного агента	З природною і примусовою циркуляцією
Конструкція	Камерні, шахтні, стрічкові, барабанні, трубчасті, коридорні, розпилювальні і ін.
Напрямок потоку матеріалу і сушильного агента	Противоточна, прямоточна, з перехресним потоком

1.3. Конструкції розпилювальних сушарок

У харчовій промисловості широкого використання набули розпилювальні сушарки. Основними перевагами сушарок цього типу є:

- стабільність і простота процесу розпилення і сушіння;

- менший вплив тепла на продукт за рахунок хорошого розподілу частинок розпилюваного продукту;
- висока розчинність готового продукту та збереження цінних компонентів, у тому числі чутливих до тепла;
- можливість повного відділення сухих частинок від теплоносія.

Розглянемо конструкції розпилювальних сушарок.

На рис. 1.1 наведено конструкції сушарок з верхньою подачею продукту і нижнім введенням теплоносія.

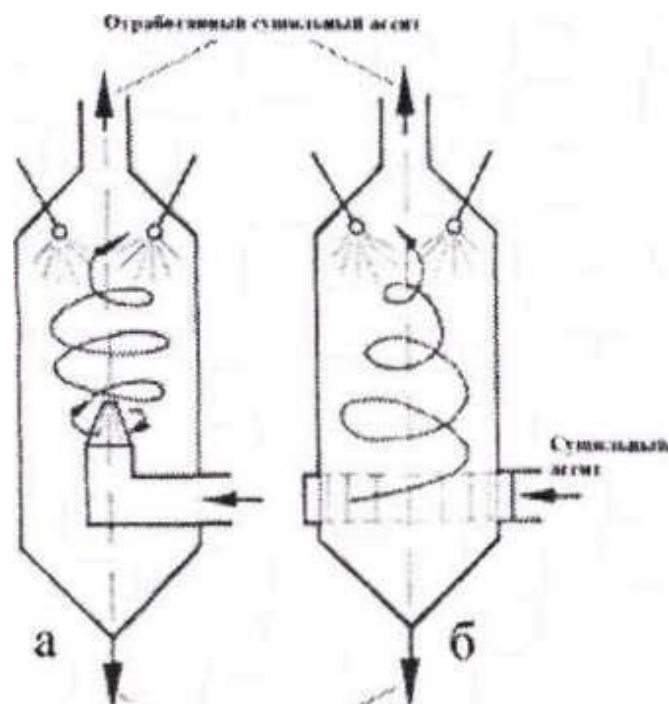


Рис. 1.1. Функціональні схеми розпилювальних сушарок з верхньою подачею продукту і нижнім введенням теплоносія (протиточна схема): а - центральний підвід теплоносія; б - периферійний підвід теплоносія

На рис. 1.2 наведено конструкції дискових і форсункових сушарок з верхньою подачею продукту.

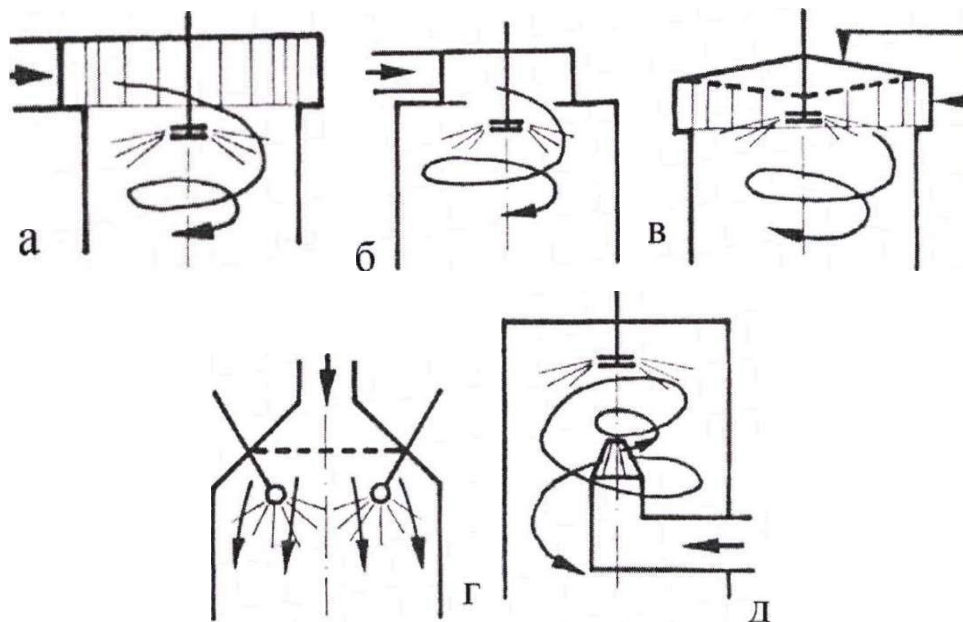


Рис. 1.2. Функціональні схеми сушильних дискових і форсункових установок з верхньою подачею продукту: а - дисковий розпилювач, верхній периферійний підвід теплоносія; б - дисковий розпилювач, верхній центральний підвід теплоносія; в - дисковий розпилювач, комбіноване введення теплоносія; г - форсуночний розпилювач, введення теплоносія через стельовий повітророзподільник (а, б, в і г - прямоточна схема); д - дисковий розпилювач, нижнє центральне введення теплоносія (змішана схема)

Дані сушарки характеризуються рівномірним полем швидкості по всьому перерізу камери, що особливо актуально для протиточного сушіння. Однією з умов одержання високоякісної продукції є раціональна організація теплових потоків та потоку продукту в робочій зоні сушарки.

На рис. 1.3. представлено схеми сушильних камер прямоточних форсункових сушарок з верхньою подачею продукту і теплоносія.

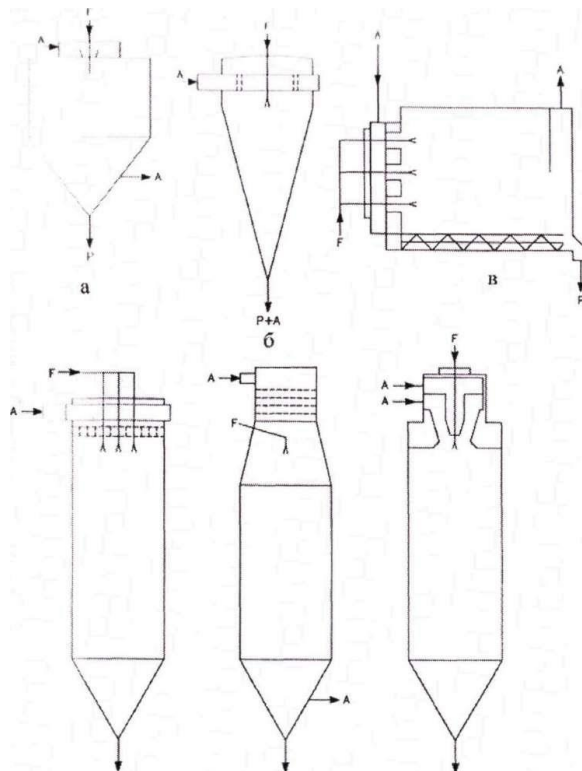


Рис. 1.3. Схеми сушильних камер прямоточних форсункових сушарок з верхньою подачею продукту і теплоносія: а - верхнє центральне введення теплоносія; б - верхнє тангенціальне введення теплоносія; в - горизонтальна сушильна камера; г, д - введення теплоносія через стельовий повітророзподільник; е - верхнє секційне центральне введення теплоносія; А - вхід і вихід теплоносія; Б - вхід продукту; Р - вихід продукту

Сушарка на рис. 1.3, а передбачає можливість використання як насадки, так і пластинчастого розпилювача. Конструкція на рисунку 1.3, б має тангенціальний вхід теплоносія, що забезпечує високу швидкість потоку біля стінки сушильної камери та відносно короткий час сушіння. Горизонтальні сушарки (рис. 1.3, в) відрізняються наявністю індивідуальних повітророзподільників для кожної форсунки. Повітряний дифузор, показаний на рис. 1.3, г і 1.3, д, забезпечує паралельну циркуляцію тепловідводу за допомогою перфорованих пластин або напрямних лопаток. У сушарці на рис. 1.3, є використовується частковий розподіл повітря, що дозволяє створити в сушильній камері два теплові потоки з різною температурою.

Деякі інші варіанти сушарок показані на рис. 1.4 та 1.5.

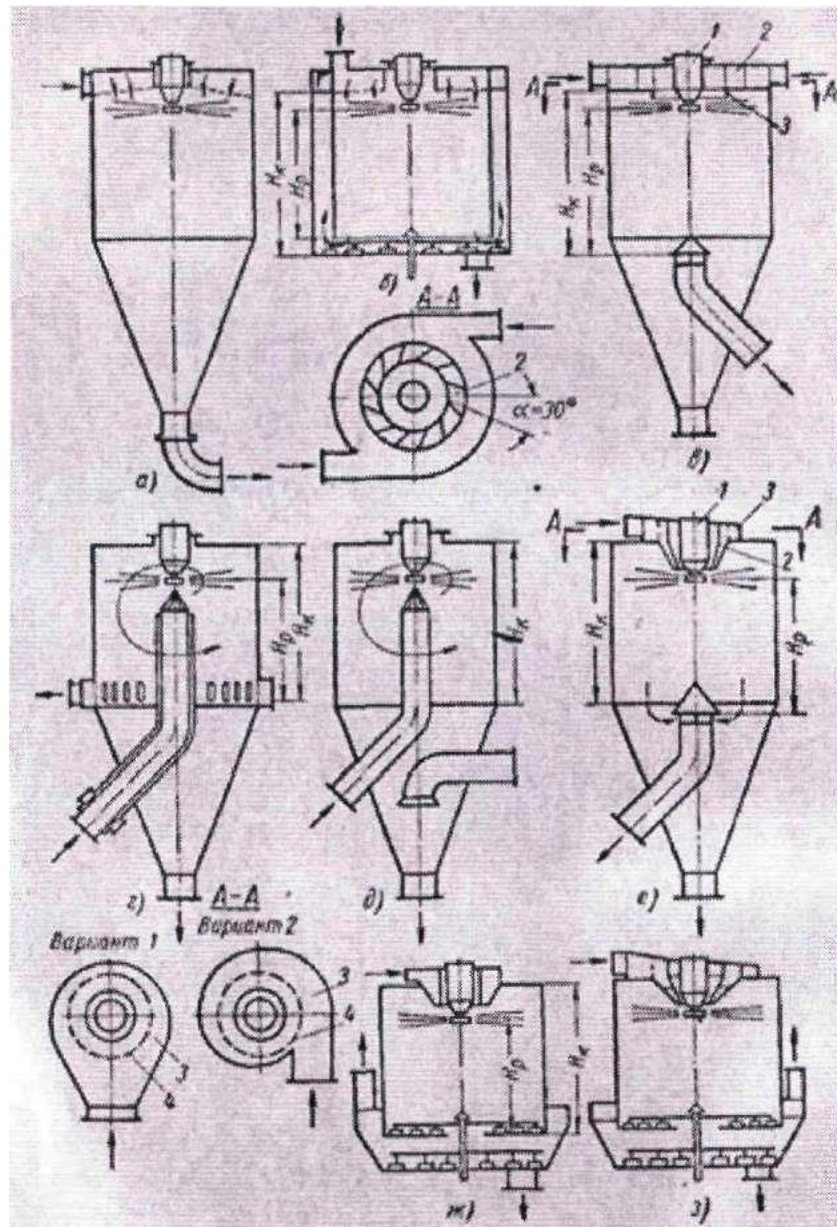


Рис. 1.4. Схеми сушильних камер з дисковим розпилюванням: а) і б) – верхнє введення теплоносія через стельовий перфорований розподільник повітря; в) - те саме, що на схемах а) і б), але введення теплоносія через стельовий лопатковий апарат (перетин А-А); г) і д) - введення теплоносія під факел розпилювання, периферійне (г) і центральне (д) підведення теплоносія; е) - введення теплоносія в корінь факела розпилювання (перетин А-А - різні варіанти виконання повітророзподільної спіралі); ж) та з) - те саме, що і е) з вивантаженням продукту за допомогою скребкового механізму

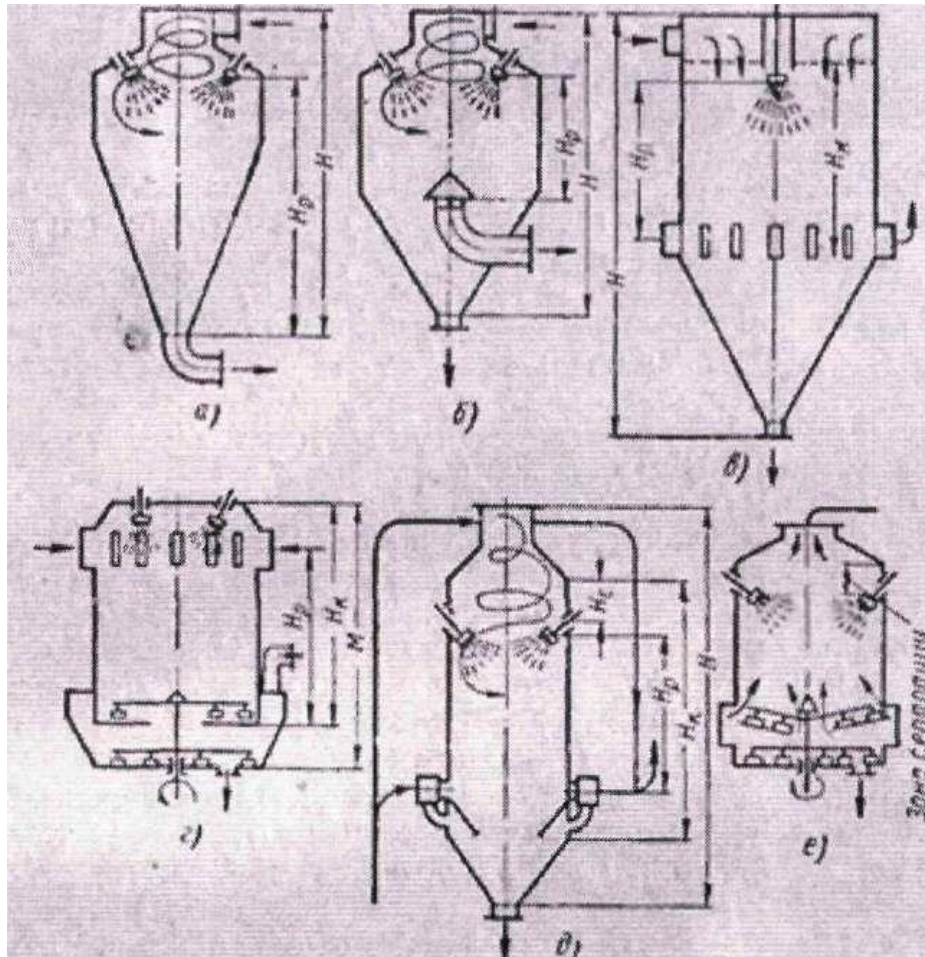


Рис. 1.5. Схеми сушильних камер з форсунковим розпилюванням:
а) і б) - верхнє введення теплоносія через стельову спіраль; в) - верхнє введення теплоносія через стельовий перфорований розподільник повітря;
г) - периферійне радіальне введення теплоносія; д) - секційне введення теплоносія; е) - нижнє введення і верхнє введення теплоносія (змішана схема)

Для ефективного сушіння дуже важливим є спосіб подачі теплоносія на факел розпиленого продукту. Є два основних способи подачі теплоносія (рис. 1.6). У першому випадку теплоносій надходить безпосередньо з верхньої частини розпилювача через повітряний дифузор з нерухожими або регульованими лопатками (рис. 1.6, а). Пристрій розподілу повітря розподіляє потік: основний циркулює навколо розпилювача, другий спрямований на край пластини. Така конструкція дозволяє раціонально використовувати об'єм сушильної камери, хоча вимагає ретельного

регулювання лопатей дифузора, щоб уникнути утворення значних завихрень повітря у верхніх кутах сушильної камери.

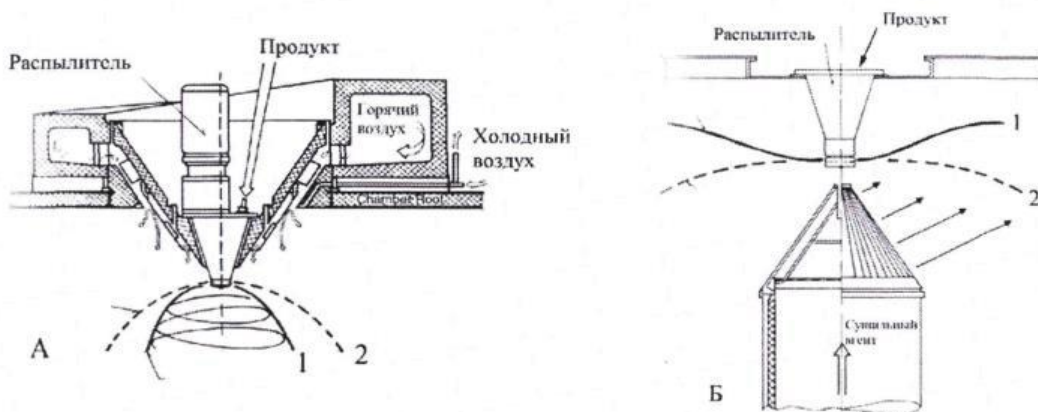


Рис. 1.6. Способи подачі теплоносія на факел розпилу прямоточних сушильних камер з відцентровим розпилювачем: а - зверху; б - знизу.

Підведення повітря під розпилювальний диск (рис. 1.6, б) застосовується, як правило, при сушінні матеріалів, що допускають високі початкові температури теплоносія. Також широко розповсюджене периферійне підведення сушильного агенту через патрубков, який під'єднаний до корпусу сушарки тангенційно.

Слід відмітити, що при подачі сушильного агенту в повітророзподільний пристрій із звуженим каналом (рис. 1.6, а), у сушильній башті доволі часто створюється циркуляційний повітряний потік біля її стінок, при цьому виникає застійна зона на периферії верхньої частини сушарки. Разом з повітрям у верхню частину сушильної камери рухаються частинки продукту, які захоплені ним. При цьому контакт частинок продукту з сушильним агентом в цій частині сушарки може призвести до їх перегрівання і, відповідно, до зниження продуктивності обладнання та якості готового продукту.

Крім того, наявність таких завихрень у верхній частині сушарки сприяє налипанню продукту на її внутрішню поверхню, що також є небажаним ефектом. На рис 1.7 показано ділянки, де відбувається налипання продукту

на внутрішні стінки сушарки, а на рис. 1.8 – фото корпусу розпилювальної сушарки, на якому видно нагар на її кришці та бічній стінці.

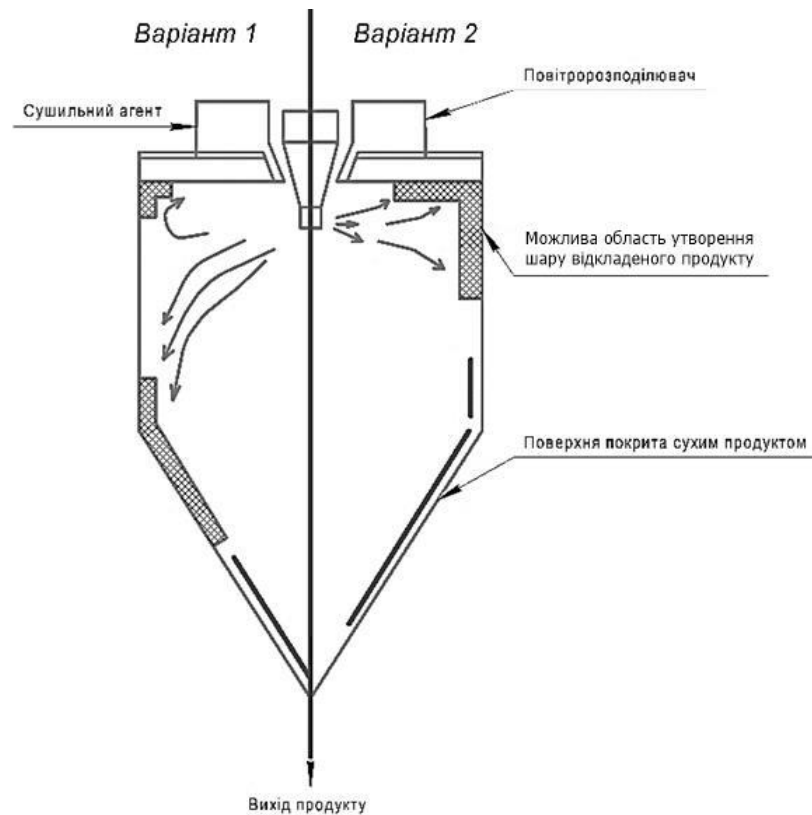


Рис. 1.7. Ділянки, де відбувається налипання продукту на стінки сушарки



Рис. 1.8. Фото корпусу розпилювальної сушарки

Одним із шляхів усунення даного негативного явища може бути додаткове підведення сушительного агенту в зони виникнення нагару.

Розглянемо детальніше конструкції розпилювальних сушарок.

Однією із сучасних розпилювальних сушарок є установка є А1-ОРЧ (рис. 1.9).

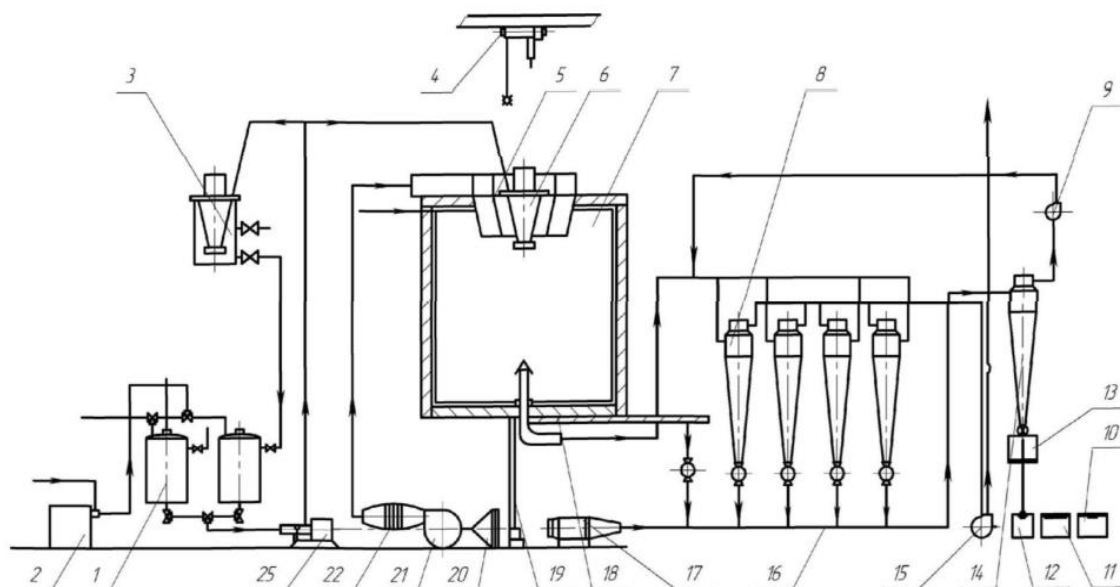


Рис. 1.9. Установка А1-ОРЧ:

1 - проміжні резервуари; 2 - гомогенізатор; 3 - бачок мийного пристрою;
 4 - електродаль; 5 - повітророзподільник; 6 - розпилювач; 7 - сушильна
 башта; 8 - циклони; 9,15, 21 - вентилятори; 10 - швейна машина для
 зашивання паперових мішків; 11 - ультразвукова установка для зварювання
 поліетиленових укладок; 12 - ваговий автоматичний дозатор; 13 - бункер;
 14 - циклон-розвантажувач; 16 - пневмотранспортна лінія; 17, 22 -
 калорифери; 18 - шнек; 19 - скребковий механізм; 20 - повітряний фільтр;
 23 - гвинтовий насос.

Сушильна камера установки А1-ОРЧ являє собою циліндричну вежу з листового металу та теплоізоляцією. Днище вежі плоске або конічне, є люк, через який можна увійти в середину сушарки для її огляду, очищення, ремонту. В нижній частині камери є скребковий механізм із зовнішнім приводом, що видаляє бруд з дна та стіни вежі. У верхній частині камери знаходиться розпилювач для диспергування рідини. Сушильний агент подається вентилятором. При розпиленні частинки рідини швидко

омиваються потоками гарячого повітря, висушуються і спускаються на дно вежі. Звідки вони поступово переміщаються в шнек, а звідти в пневмотранспортну лінію та в бункер для зберігання. Відпрацьоване повітря виводиться із сушильної башти та подається на очищення від часток порошку в батарею циклонів. В тій же батареї очищується і повітря, що використовувалось для переміщення готового продукту від шнека до бункера-зберігача. Сушарка знижує вологість продукту до 4%. Вона має пульт керування зі світловим табло і звуковою сигналізацією і може працювати в автоматичному і ручному режимах.

На рис. 1.10 представлено конструкцію сушарки СРЦ-6300, яка використовується для сушіння паст, суспензій, розчинів. Диспергування вологого продукту відбувається відцентровим розпилювальним диском. Краплі осідають у потоці сушильного агенту і при цьому відбувається їхнє висихання. Порошкоподібний висушений продукт виводиться знизу сушарки, або із потоком сушильного агенту, який потім уловлюється.

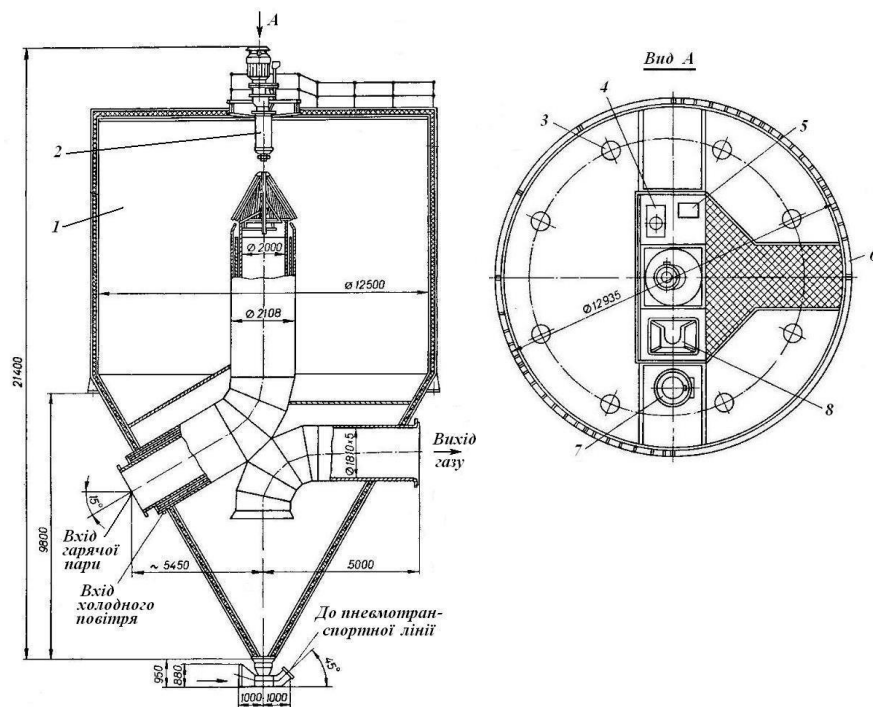


Рис. 1.10. Розпилювальна сушарка СРЦ-6300:

1 – корпус; 2 – розпилювальний пристрій; 3 – люк; 4 – фільтр; 5 – панель керування; 6 – двері; 7 – клапан запобіжний; 8 – підставка

Розпилювальна сушарка (рис. 1.11) використовується для сушіння рідин: молока, яєць, барди, желатину, альбуміну. Сушильна камера сушарки виконана у вигляді вежі. Продукт, який подається в сушарку, розпилюється у її верхній частині. Його краплі падають і при цьому встановлюється контакт між матеріалом і сушильним агентом, який подається в нижню частину сушарки.

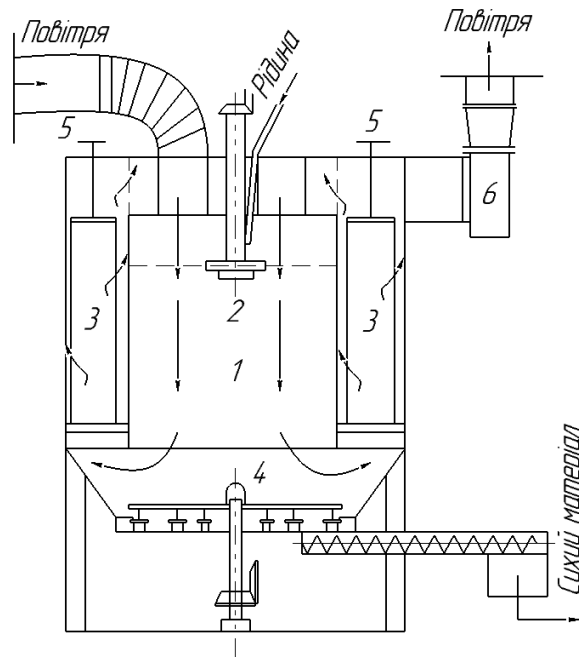


Рис. 1.11. Розпилювальна сушарка:

1 – сушильна камера; 2 – розпилювальний диск; 3 – фільтри; 4 – скребки;
5 – струшуючий механізм; 6 – вентилятор

Завдяки високій дисперсності матеріалу при його розпиленні він має велику поверхню контакту з сушильним агентом, тому швидкість сушіння дуже висока. Сушильний агент у сушарці має низьку швидкість і навіть при цій швидкості захоплює дрібні частинки матеріалу, які в подальшому видаляються з сушарки. Щоб їх вловити відпрацьований сушильний агент буде проходити через фільтр. Сухий матеріал падає на дно камери і транспортується за допомогою скребка та шнеку.

На рис. 1.12. показана конструкція іншої розпилювальної сушарки.

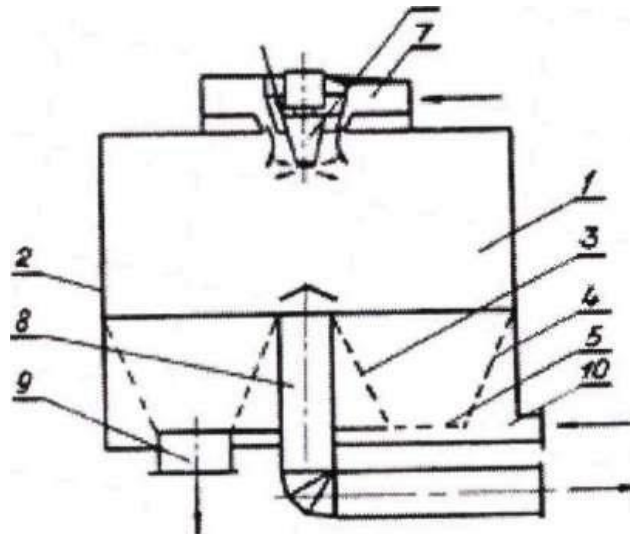


Рис. 1.12. Розпилювальна сушарка:

1 - сушильна камера; 2 - корпус; 3,4 - перфоровані конуси; 5 - перфорована пластина; 6 - відцентровий розпилювач; 7 - повітророзподільний пристрій; 8 - відвідний патрубок; 9 - вивід; 10 - короб

Особливістю цієї сушарки є наявність перфорованого конуса всередині 3 і зовні 4, а також горизонтальної перфорованої пластини 5. Перфорована пластина конуса влаштована наступним чином. Отвори конусів спрямовані в протилежні сторони, а в просторі між конусами при роботі сушарки виникають різкі кругові закрутки. Така турбулізація теплоносія дозволяє значно прискорити процес сушіння. Крім того, теплоносій, що виходить з отвору, утворює захисний шар, який не дає продукту прилипнути до конуса. Провідник тепла, який виходить з отвору в нижній частині перфорованої плоскої частини 5, не тільки посилює висихання та допомагає сушильному матеріалу досягти остаточної вологості, але також створює потік, який забирає частинки нижче вихідного отвору 9 для видалення із сушарки.

Конструкція сушарки, оснащеної трьома розпилювачами, наведена на рис. 1.13. В такій сушарці за рахунок комбінованого розпилення рідини весь об'єм сушильної камери заповнений продуктом, що дозволяє зменшити розміри сушарки та підвищити вологонапруженість сушильної камери в 2-3 рази. Крім того, у сушильній камері змішування теплових потоків і частинок

приводить до перемішування потоків, що сприятливо впливає на інтенсивність сушіння.

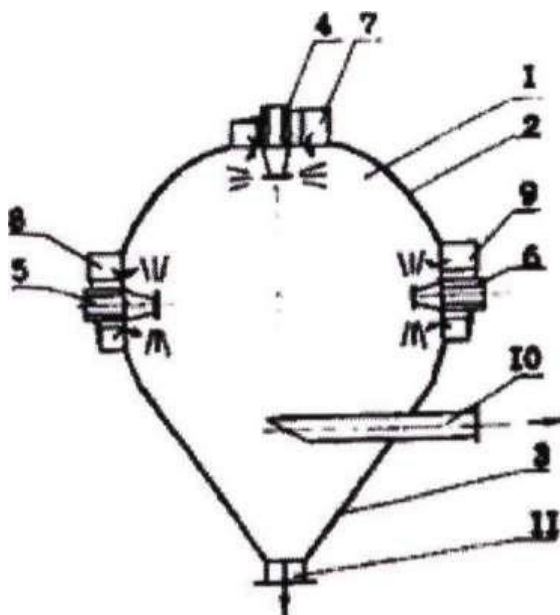


Рис. 1.13. Розпилувальна сушарка з трьома розпилувачами:

- 1 - сушильна камера; 2 - сферична верхня частина; 3 - нижня частина;
 4, 5, 6 - відцентрові розпилувачі; 7, 8, 9 - розподілювачі повітря;
 10 - патрубок для виведення теплоносія; 11 – патрубок для виведення продукту

1.4. Висновки

Наявність значної кількості сушильних камер та повітророзподільних пристроїв різноманітної конструкції свідчить про пошук шляхів інтенсифікації процесу сушіння, підвищення ефективності роботи сушарок, покращення якості готового сухого продукту.

Встановлено, що при роботі розпилувальної сушарки можливе налипання вологого продукту на її внутрішні стінки, що призводить до зниження її продуктивності (простої, пов'язані з очищенням стінок від нагару) та якості готового продукту. Одним із шляхів усунення даного негативного явища може бути додаткове підведення сушильного агенту в зони виникнення нагару. Визначенню раціонального підведення теплоносія в сушарку присвячена дана кваліфікаційна робота.

2. РОЗРОБКА НОВОГО ТЕХНІЧНОГО РІШЕННЯ ОБ'ЄКТУ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Гідромеханічні процеси в сушильних камерах розпилювальних сушарок

На інтенсивність сушіння впливають різні фактори, в тому числі температура сушильного агенту і крапель розпиленого продукту, розмір дисперсних частинок. З цими параметрами тісно пов'язана якість самого висушеного продукту. Висока температура теплоносія скорочує час висихання, але підвищує ризик перегріву окремих частинок. Подібний принцип діє і щодо розміру частинок – чим менша частинка тим швидший час її осушення, але ймовірність перегріву також збільшується.

Час сушіння в розпилювальній сушарці залежить, зокрема, від:

- складу та фізичних властивостей висушуваного матеріалу;
- форми та розміру дисперсних частинок, отриманих при розпиленні рідини;.
- початкової, кінцевої і критичної вологості матеріалу;
- температури сушильного агенту та висушуваного матеріалу;
- вологості повітря всередині сушарки;
- інтенсивності перемішування потоків;
- співвідношення кількості сушильного агенту до кількості висушуваного матеріалу.

При проектуванні сушильної камери необхідно враховувати усі вищезгадані фактори. Відомо декілька груп методик, що використовуються при проектуванні сушарок.

Першу групу складають методики, які базуються на концепціях величини питомої вологонапруженості. За допомогою цих методик можна

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Слюсенко А.М.	Вид документа Пояснювальна записка		Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Бережинський М.В.	Назва, додаткова назва Розробка нового технічного рішення об'єкту дослідження	22-2134.KP.07.002.ПЗ				
	Документ затверджено Якимчук М.В.		Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 1/5	

оцінити об'єм сушильної камери розпилювальної сушарки та співвідношення її геометричних розмірів. При проектуванні сушильних установок зазвичай використовувати методики цієї групи.

Другу групу складають методи, що базуються на об'ємних співвідношеннях тепло і масообміну. При цьому використовуються і об'ємні коефіцієнти тепло і масообміну. Методи цієї групи не використовуються широко, тому що вони доволі складні та вимагають більше часу на обчислення, ніж прийоми першої групи.

Третя категорія включає методи, які передбачають розв'язання гідродинамічних рівнянь і випаровування однієї краплі з подальшим застосуванням результатів до всіх висушених частинок. Одночасно висуваються численні припущення, тому аеродинамічні умови в сушильних камерах враховуються не повноцінно.

В четвертій категорії методів враховують макрокінетичні параметри процесу з додатковим значенням ступеня змішування.

Третій і четвертий способи є найбільш просунутими, але також трудомісткими. Розв'язування складних систем диференціальних рівнянь є одним із їх застосувань. Водночас чітко налагоджене призначення граничних умов є вирішальним. Іноді останнє може викликати значні проблеми, а неточність у визначеннях може призвести до ненадійності остаточних розрахунків.

Загалом кажучи, вищезгадані методи включають різні припущення, які вимагають експериментальної перевірки, особливо коли нові технічні рішення інтегровані в конструкцію сушильної установки.

Гідродинамічна структура потоків у сушильній камері є вирішальним фактором, що визначає ефективність і швидкість розпилювального сушіння. Сушильна камера прямої розпилювальної сушарки (рис. 2.1.) містить основний потік теплоносія, який створюється розподільником повітря. У безпосередній близькості від стінок камери є ділянки, де теплоносії

рухається зворотним шляхом від одного кінця до іншого, а також є застійні ділянки. З теплоносієм найдрібніші частинки захопленого ним продукту потрапляють у верхню частину камери, їх зіткнення з гарячим повітрям призводить до перегріву і зниження регенераційних властивостей. Крім того, наявність сильних завихрень у верхній частині камери сприяє викиду продукту до стелі камери, що також є небажаним явищем.

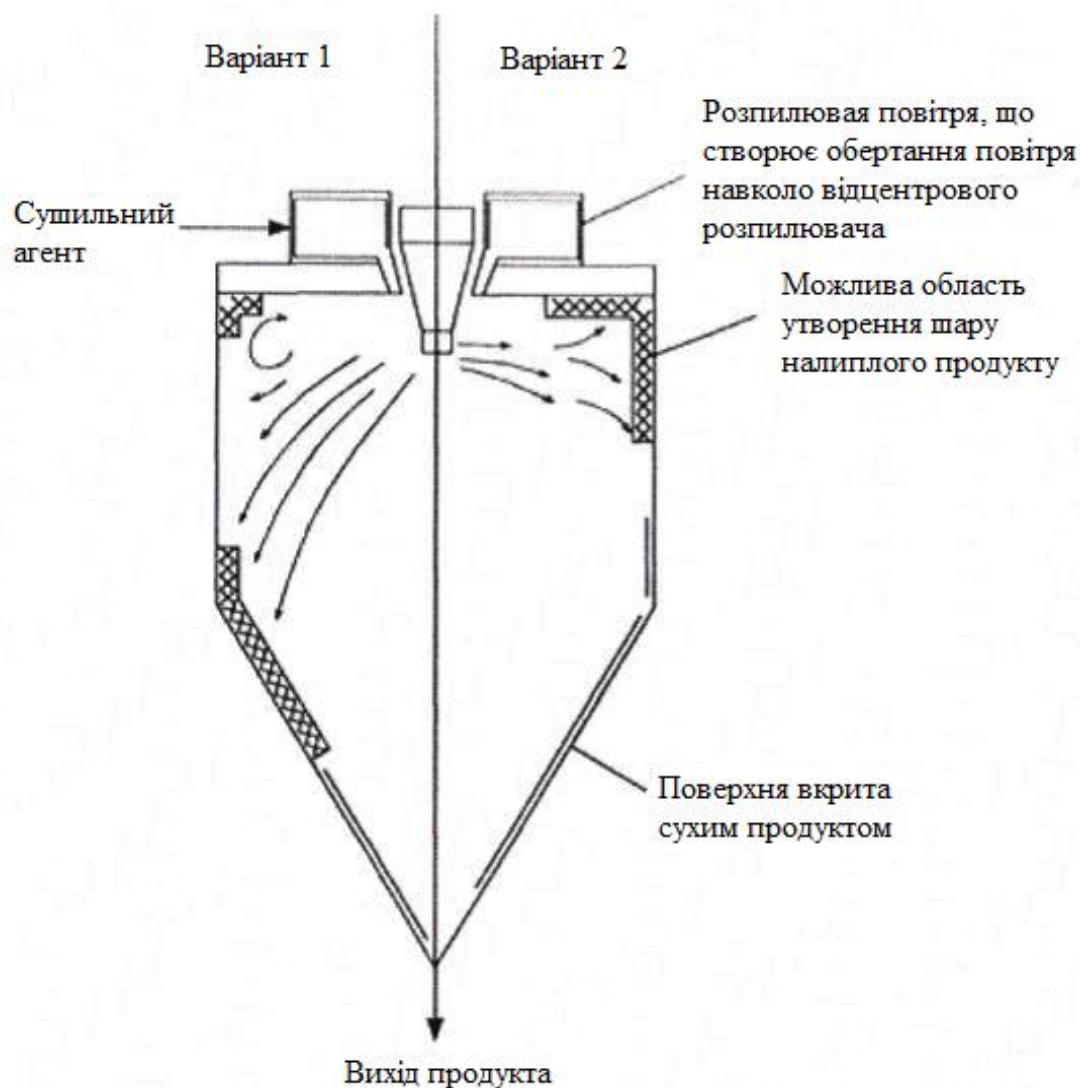


Рис. 2.1. Области ймовірного утворення шару налиплих частинок продукту на стінках сушильної камери: Варіант 1 - при повному «захопленні» частинок продукту потоком теплоносія; Варіант 2 - при «проскоці» найбільш великих часток крізь потік теплоносія

На рис. 2.1 показано дві можливі комбінації висушування продуктів у сушильній камері розглянутого типу. Відповідно до варіанту здійснення 1, усі частинки спрею висушуються в основному низхідному потоці теплоносія. Шар липких частинок утворюється за рахунок проникнення найдрібніших частинок в місця застою відпрацьованого теплоносія. Згідно з варіантом 2 частина невисушених частинок, як правило, частинок більшого розміру, потрапляє в основний потік теплоносія за рахунок сил інерції і осідає на стінці сушильної камери навпроти сопла розпилювальної сушки. Таким чином застійні ділянки на верхній периферії сушарки практично не беруть участі в процесі сушіння і викликають зниження якості готової продукції. Крім того, місця, де застряг продукт, становлять потенційну небезпеку самозаймання. З цього приводу можна зробити висновок, що об'єм сушильної камери розглянутих сушарок використовується не за призначенням.

Повноцінне врахування налипання частинок на стінки сушарки практично неможливе. Задача ще більше ускладнюється, якщо врахувати неоднорідність системи, тобто наявність дисперсійного середовища у вигляді розпорошених крапель продукту. Кожна крапля взаємодіє з потоком теплоносія, що призводить до появи додаткових сил, пов'язаних з умовами потоку і перенесення ним вологи в поверхневій зоні. У зв'язку з вищевикладеним необхідно знайти дещо інші підходи до вирішення поставленої проблеми.

Потік теплоносія в цій зоні формується кільцевим каналом і повітророзподільними лопатками, геометричне співвідношення яких визначає осьову, тангенціальну і радіальну складові швидкості.

Цей потік «захоплює» більшу частину розпорошених частинок і саме в цьому потоці, очевидно, відбувається основний процес сушіння. Тангенціальна складова швидкості сприяє утворенню вихору у верхній частині камери, а осьова спричиняє утворення осьового потоку осушувача.

Процес сушіння розпиленням включає диспергування продукту за допомогою розпилювального обладнання. Способи та умови розпилення, а також конструктивні особливості розпилювача визначають основні параметри руху частинок, їх розмір і повинні враховуватись при виборі конструкції сушильної камери та її розмірів.

Теоретичним і експериментальним дослідженням процесу диспергування рідини розпилювачами присвячено багато робіт вітчизняних і зарубіжних дослідників. Ці дослідження в основному присвячені вивченню полідисперсності та розподілу частинок у факелі розпилювача, а також параметрів руху частинок по довжині факела в умовах обдування його потоком теплоносія. При цьому велике значення мають тип і конструктивні особливості розпилювача, який використовується для сушіння рідини.

2.2. Висновки

Проведено аналіз літературних джерел та встановлено, що при роботі розпилювальної сушарки можливе налипання вологого продукту на її внутрішні стінки, що призводить до зниження її продуктивності та якості готового продукту.

Пропонується провести власні дослідження гідродинаміки потоків у розпилювальній сушарці із застосуванням CFD моделювання в програмі Ansys та запропонувати рішення по усуненню даного недоліка.

3. ДОСЛІДНА ЧАСТИНА ТА УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

3.1. Об'єкт та предмет досліджень

Об'єктом досліджень є гідродинаміка потоків (рідини, газу та їх суміші) в розпилювальній сушарці СРЦ.

Предметом досліджень є розпилювальна сушарка СРЦ.

3.2. Опис імітаційної моделі об'єкту досліджень та методика проведення досліджень

В даній кваліфікаційній роботі наукове дослідження об'єкту проведено із застосуванням САЕ-системи інженерного аналізу ANSYS CFD, модуль гідродинаміки CFX. Даний програмний засіб обраний з наступних причин:

- він є найпотужнішим і найпоширенішим для проведення досліджень в області аеро- та гідродинаміки;
- на офіційному веб-сайті ansys.com можна отримати його ліцензійну академічну версію для користування.

Для проведення CFD моделювання в CAD-системі Inventor створено розрахункову область з підведенням сушильного агенту у сушарку через тангенційний патрубок круглого перерізу (рис. 3.1.). Це є типове підведення повітря в сушарці СРЦ. Розміри 3D моделі відповідають розмірам обладнання.

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Слюсенко А.М.	Вид документа Пояснювальна записка		Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Бережинський М.В.	Назва, додаткова назва Дослідна частина та узагальнення результатів	22-2134.KP.07.003.ПЗ				
	Документ затверджено Якимчук М.В.		Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 1/24	

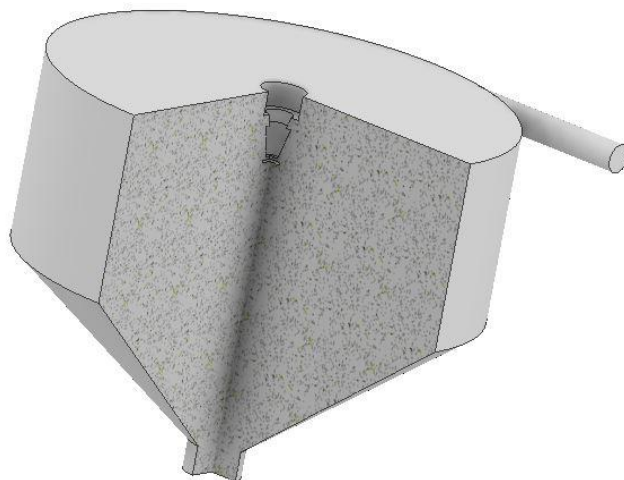


Рис. 3.1. Розрахункова область з підведенням сушиного агенту через тангенційний патрубок круглого перерізу

В блоці Mesh модуля CFX на базі імпортованої 3D моделі згенеровано розрахункову сіткову модель (рис. 3.2). Кількість комірок в розрахунковій області становить 430 тис.

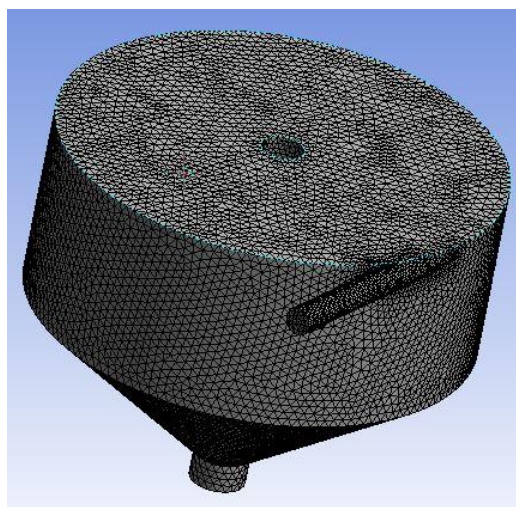


Рис. 3.2. Розрахункова сіткова модель

Для проведення CFD моделювання в препроцесорі модуля CFX вибрано тип аналізу Steady State. З бази даних завантажено матеріали, які розглядаються в розрахунку – це повітря та вода. Підключено урахування прискорення вільного падіння. Для врахування турбулентності обрано $k-\varepsilon$

модель. Для врахування взаємодії між фазами використано модель Ейлера Mixture.

Визначено поверхні, до яких прикладаються граничні умови: Inlet Gas (вхід газу), Inlet Liquid (вхід рідини), Outlet (вихід потоку) та Wall (стінка) (рис. 3.3).

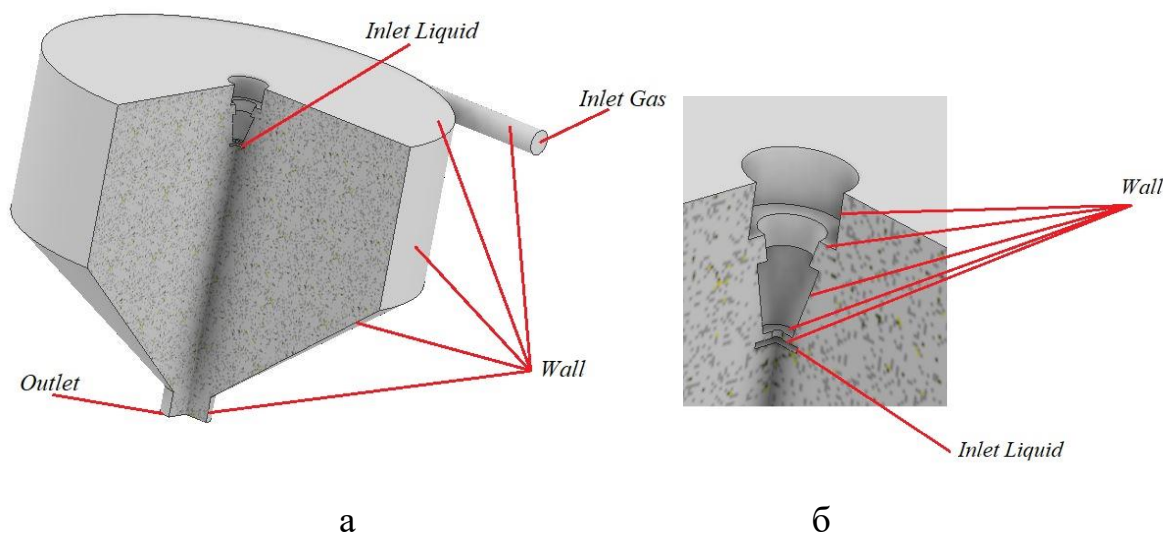


Рис. 3.3. Поверхні, до яких прикладаються граничні умови:

а – загальний вид, б – збільшене зображення в області входу рідини

Для граничної умови «Inlet Gas» задано значення масової витрати 5 кг/с, що відповідає середній витраті сушильного агенту для таких сушарок. Для граничної умови «Inlet Liquid» задано вхід потоку рідини зі швидкістю 150 м/с, що знаходить в рекомендованому діапазоні швидкості розпилення рідини в сушарках (100...200 м/с). Для граничної умови «Outlet» задано нульовий тиск (без протитиску). Для граничної умови «Wall» встановлено параметр Smooth Wall (гладка стінка).

У Solver Control (контроль проведення розрахунку) задано: кількість ітерацій – 500, критерій збіжності – 0,0001.

3.3. Результати наукових досліджень та їх аналіз

3.3.1. Результати дослідження гідродинаміки потоків у сушарці з підведенням сушильного агенту через патрубки круглого перерізу, їх аналіз

На рис. 3.4 та 3.5 представлено розподілення рідини в сушарці з одним підвідним патрубком.

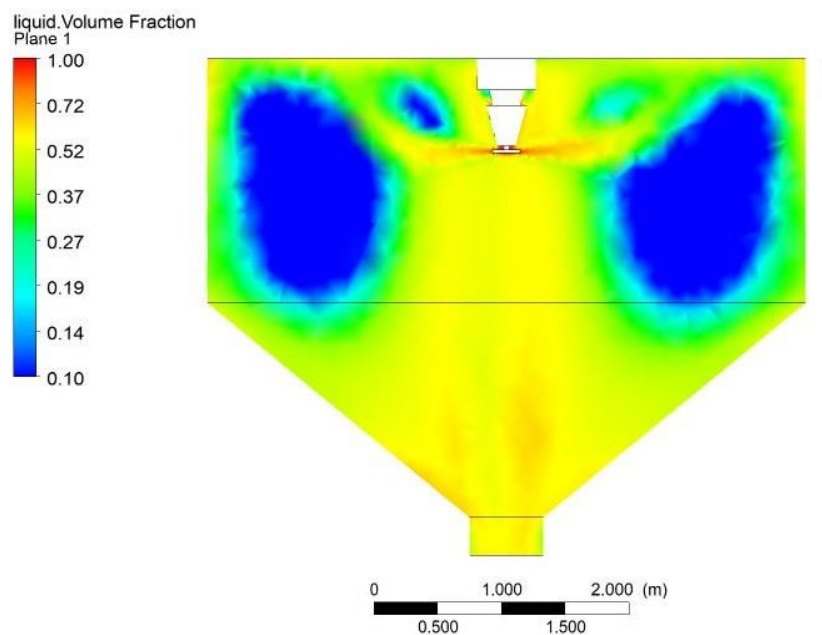


Рис. 3.4. Розподілення рідини в сушарці у фронтальній площині

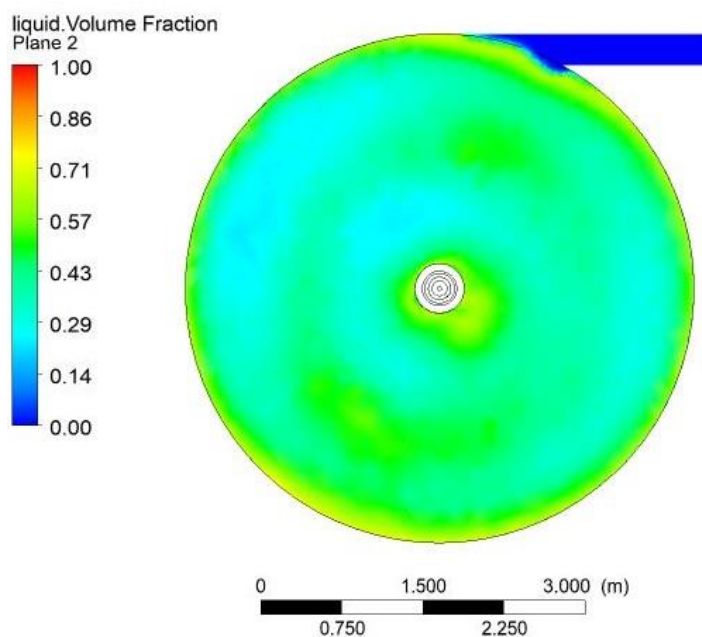


Рис. 3.5. Розподілення рідини в сушарці у горизонтальній площині

Аналіз рис. 3.4 та 3.5 показує, що біля кришки та циліндричної частини корпусу (зверху) сушарки є підвищена концентрація рідини, тобто в цих місцях є висока ймовірність налипання і подальшого утворення нагару продукту на стінках сушарки, що підтверджується відомими даними.

На рис. 3.6 представлено розподілення швидкості повітря в сушарці.

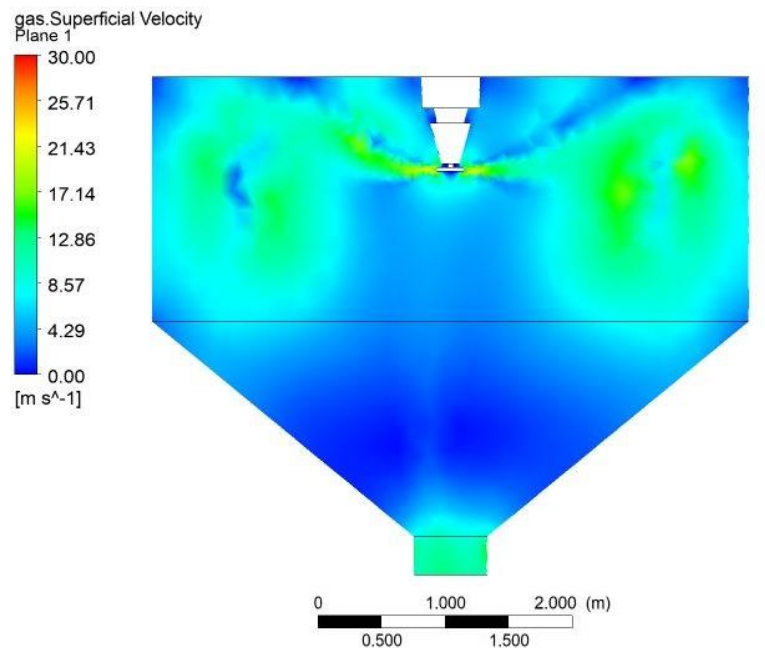


Рис. 3.6. Розподілення швидкості повітря в сушарці

Аналіз наведених даних засвідчує, що в місці з'єднання кришки з корпусом є локальна зона, швидкість повітря в якій становить 2,5...3 м/с.

Для зменшення концентрації рідини біля кришки і циліндричної частини корпусу сушарки, вочевидь, потрібно змінити варіант підведення сушильного агенту.

На рис. 3.7 представлена модель розрахункової області сушарки з двома підвідними патрубками сушильного агенту. Сумарна площа їх поперечного перерізу еквівалентна площі поперечного перерізу штатного підвідного патрубка.

Моделювання проводилося по аналогічній методиці, яка описана в речі. Граничні умови ідентичні.

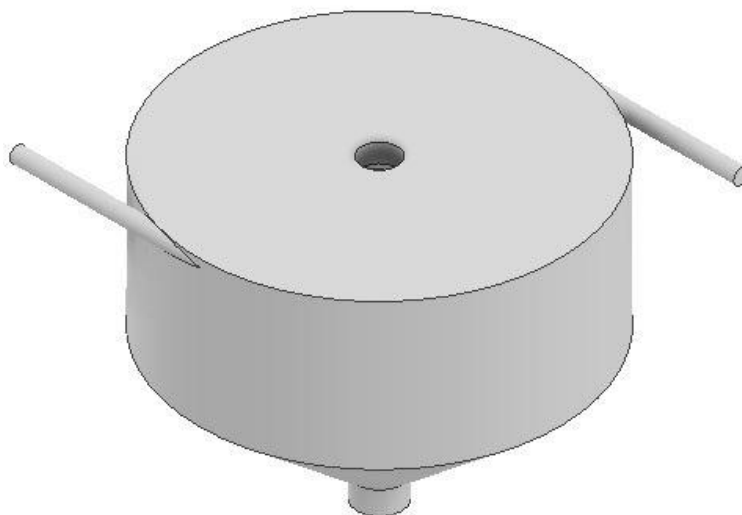


Рис. 3.7. Модель розрахункової області сушарки з двома підвідними патрубками сушильного агенту

На рис. 3.8-3.11 представлено результати CFD моделювання гіродинаміки в сушарці з двома підвідними патрубками сушильного агенту.

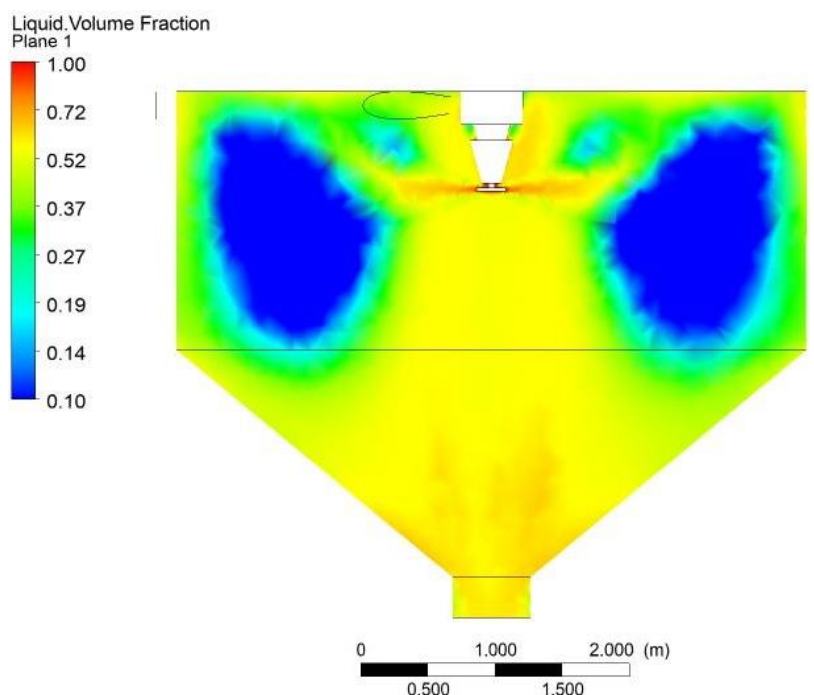


Рис. 3.8. Розподілення рідини в сушарці у фронтальній площині

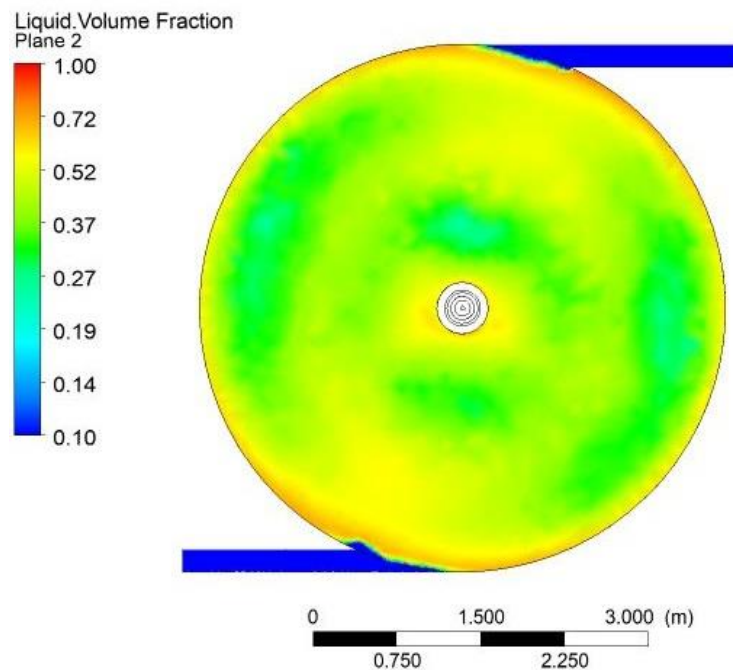


Рис. 3.9. Розподілення рідини в сушарці у горизонтальній площині

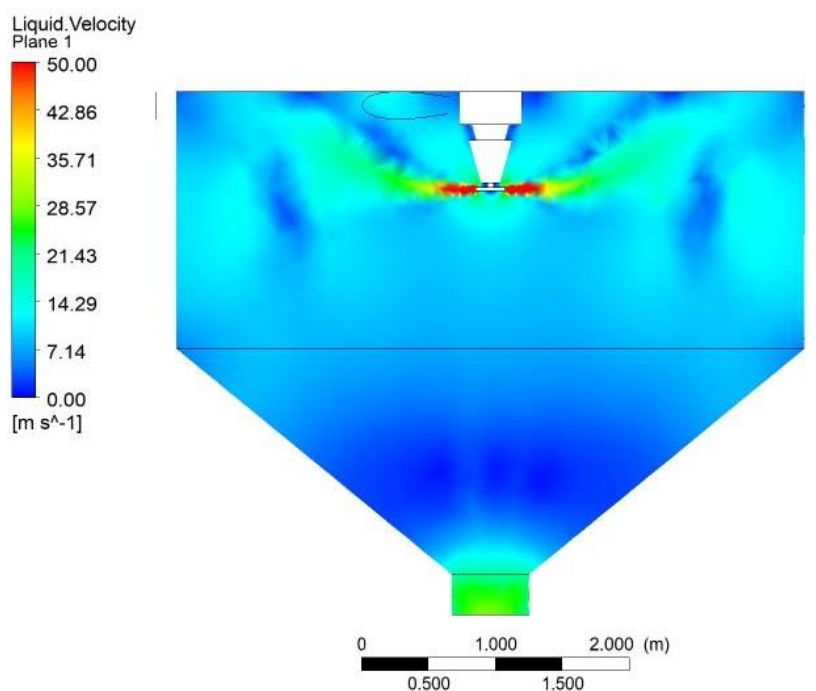


Рис. 3.10. Розподілення швидкості рідини в сушарці

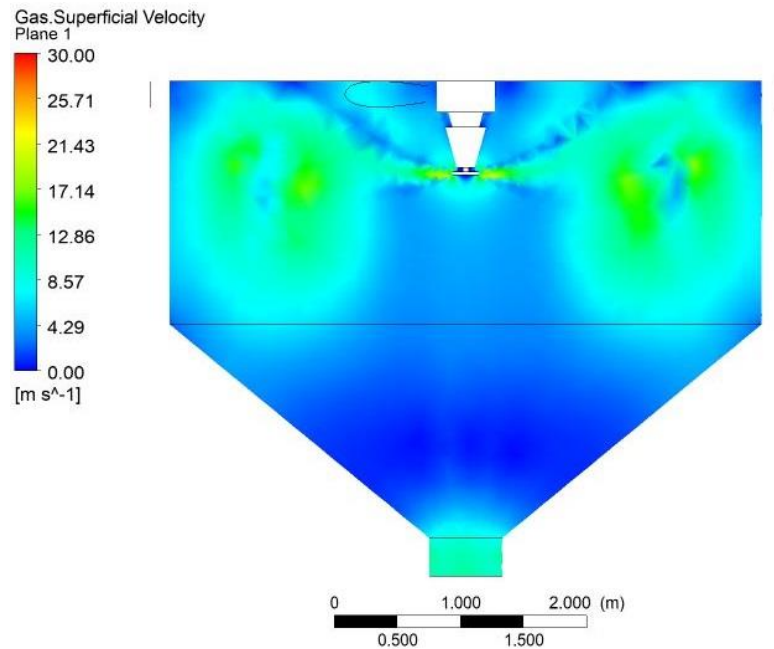


Рис. 3.11. Розподілення швидкості повітря в сушарці

Аналіз даних з рис. 3.8-3.11 дозволив встановити, що при незмінній витраті газу, підведення сушильного агенту через два патрубки дещо покращує гідродинамічну обстановку в сушарці, однак зони з підвищеною концентрацією рідини залишаються.

По аналогічній методиці та з ідентичними значеннями граничних умов проведено моделювання гідродинаміки потоку в сушарці з тьома підвідними патрубками сушильного агенту (рис. 3.12).



Рис. 3.12. Модель розрахункової області сушарки з трьома підвідними патрубками сушильного агенту

На рис. 3.13-3.16 представлено результати CFD моделювання гіродинаміки в сушарці з трьома підвідними патрубками сушильного агенту.

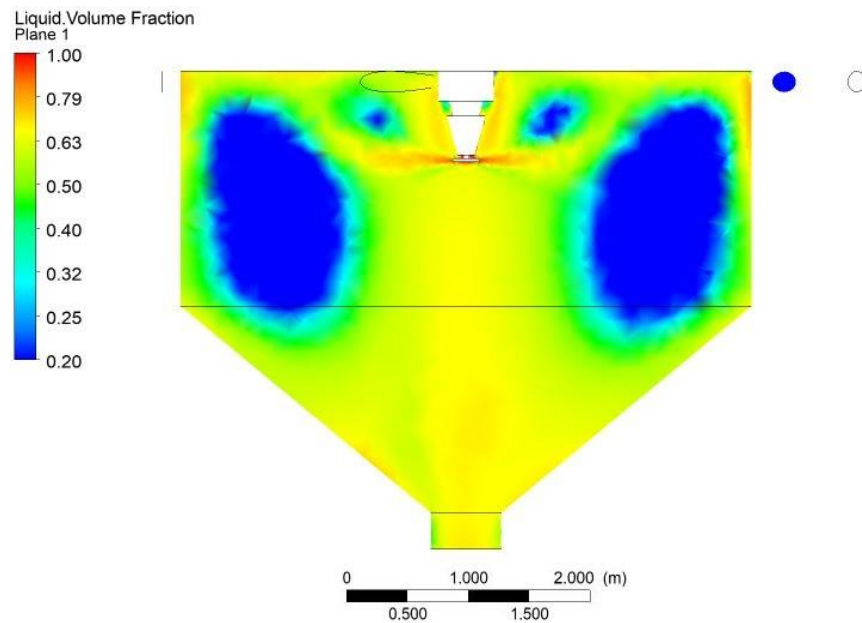


Рис. 3.13. Розподілення рідини в сушарці у фронтальній площині

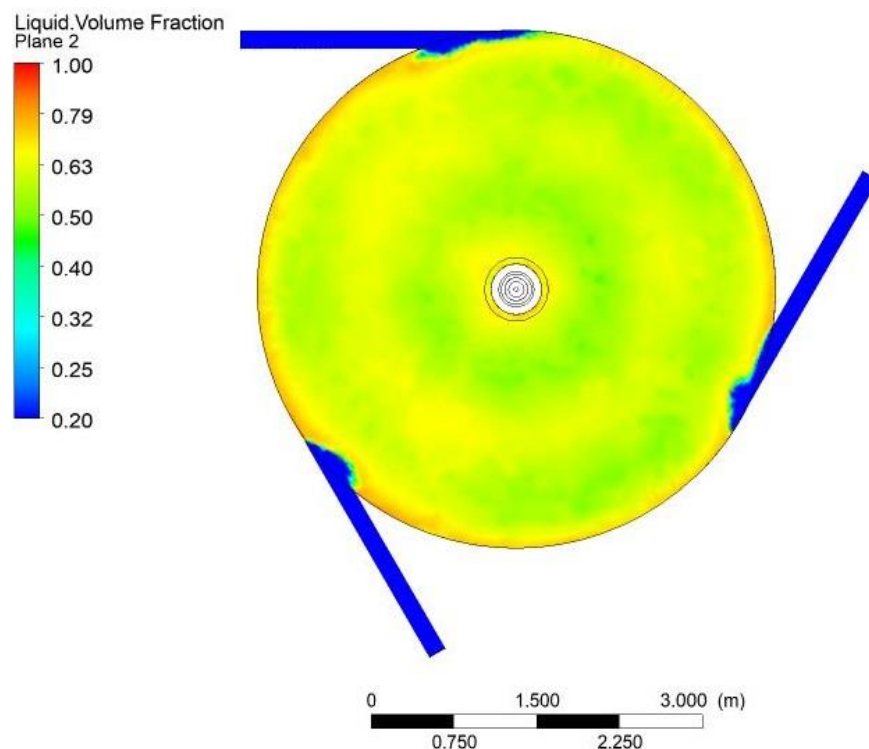


Рис. 3.14. Розподілення рідини в сушарці у горизонтальній площині

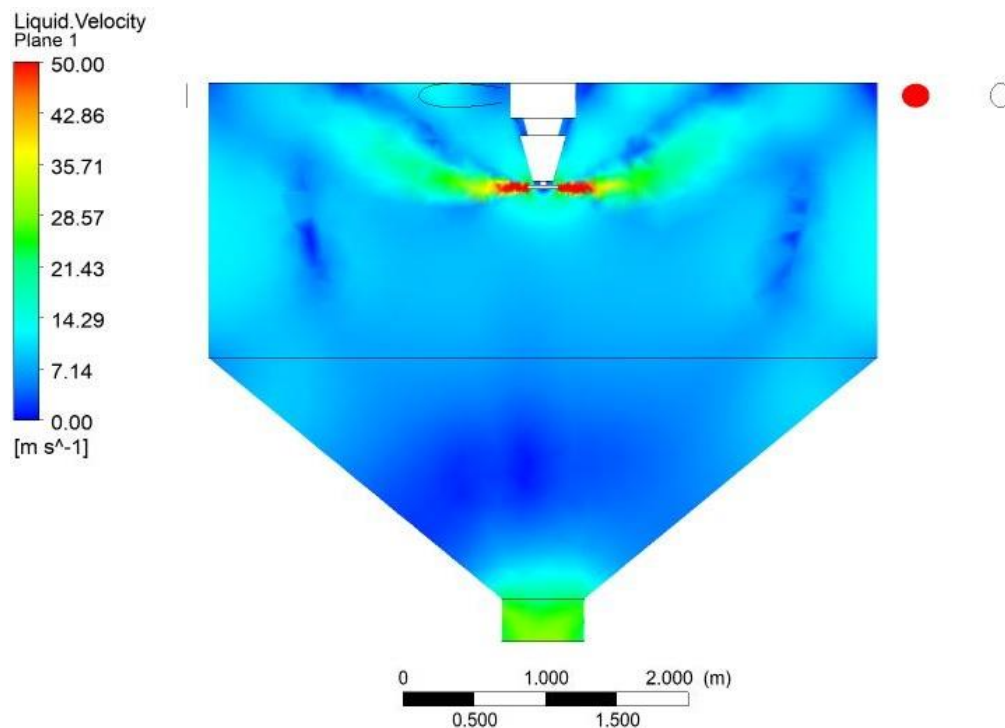


Рис. 3.15. Розподілення швидкості рідини в сушарці

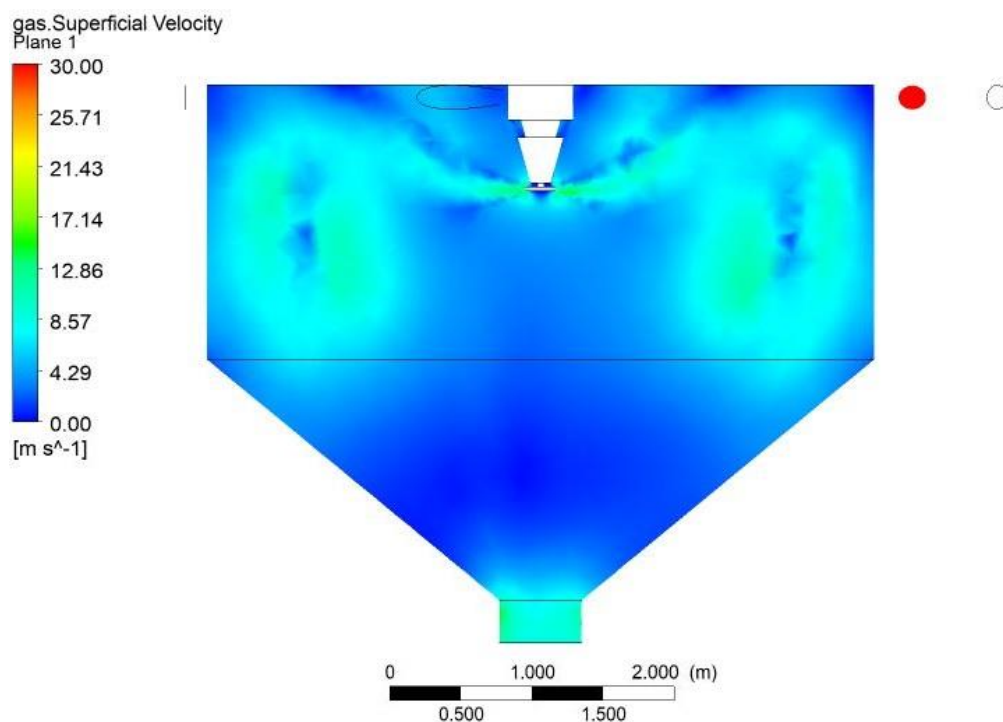


Рис. 3.16. Розподілення швидкості повітря в сушарці

Аналіз розподілення рідини в сушарці дозволив встановити, що збільшення кількості підвідних патрубків до 3-х (при незмінній витраті

повітря і однаковій площі перерізу для проходження повітря) недало суттєвого позитивного ефекту.

3.3.2. Результати дослідження гідродинаміки потоків у сушарці з підведенням сушильного агенту через патрубки прямокутного перерізу, їх аналіз

Проведено моделювання гідродинаміки потоків у сушарці з двома прямокутними підвідними патрубками сушильного агенту (рис. 3.17).

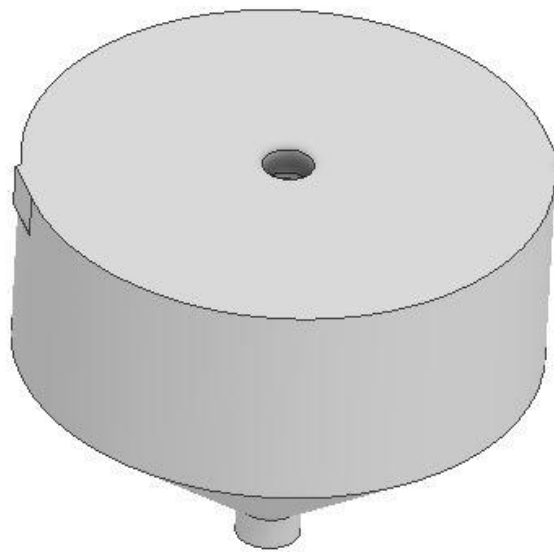


Рис. 3.17. Модель розрахункової області сушарки з двома підвідними патрубками сушильного агенту

На рис. 3.18-3.20 представлено результати імітаційного моделювання гідродинаміки в сушарці з двома підвідними патрубками сушильного агенту.

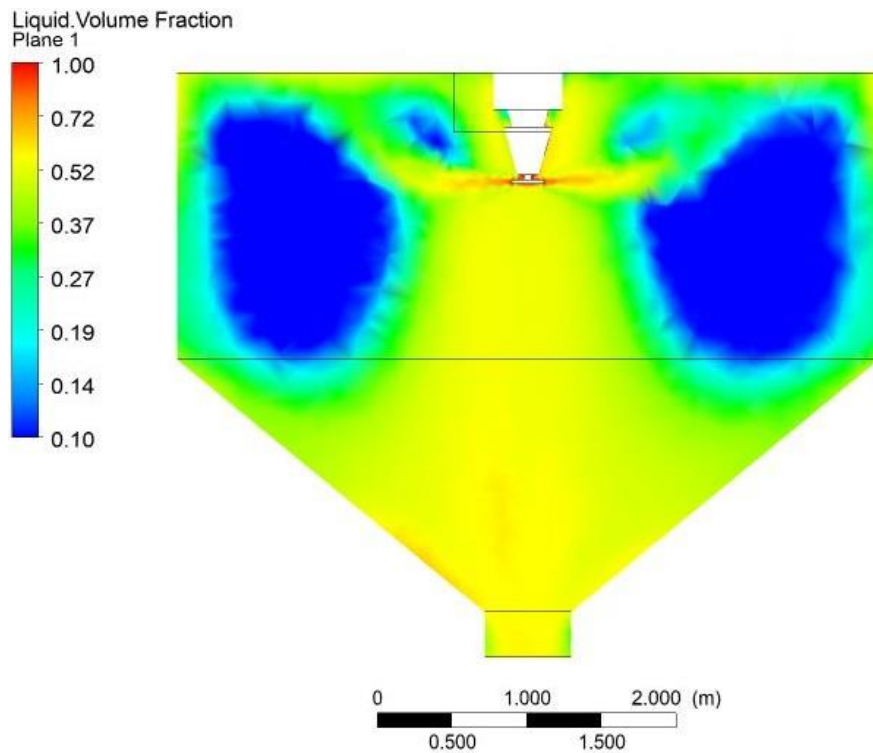


Рис. 3.18. Розподілення рідини в сушарці

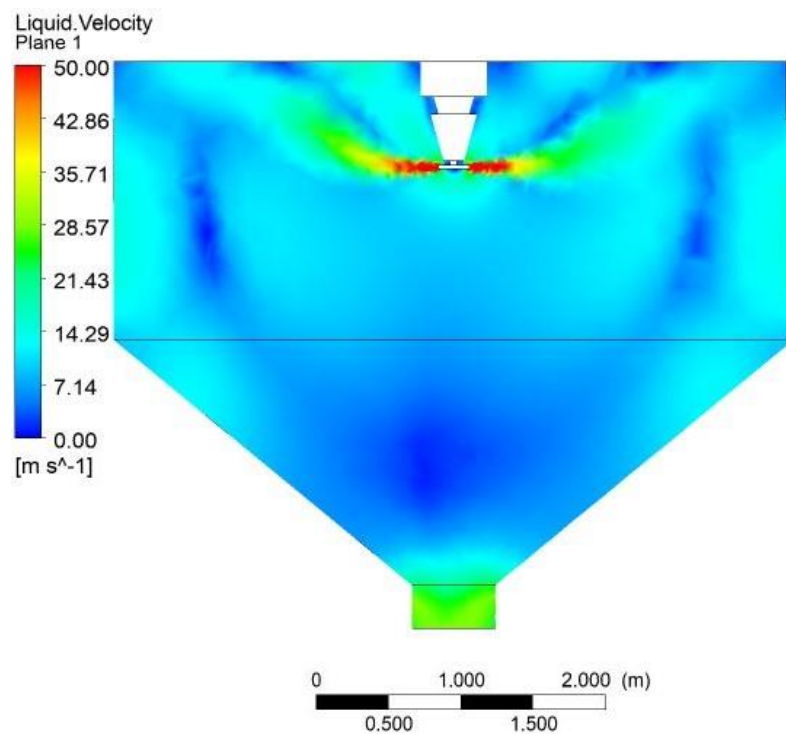


Рис. 3.19. Розподілення швидкості рідини в сушарці

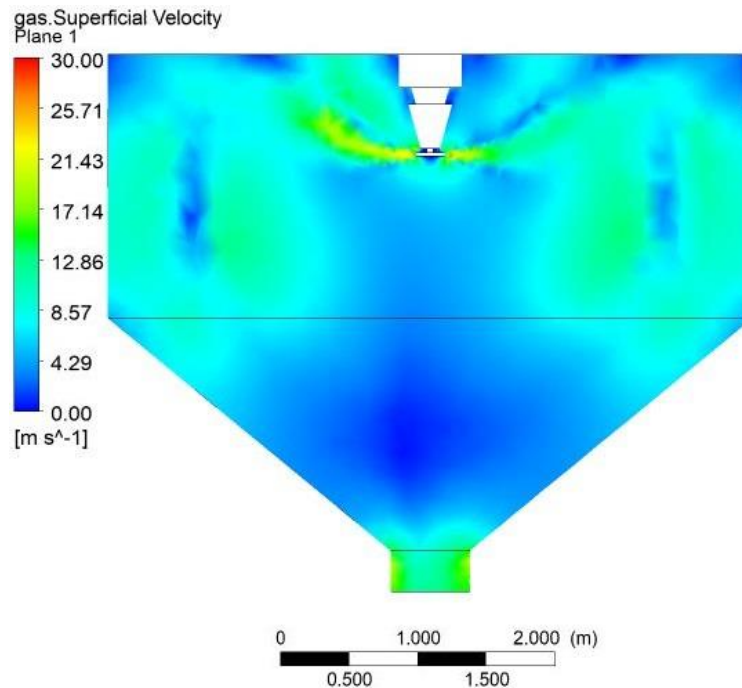


Рис. 3.20. Розподілення швидкості повітря в сушарці

Встановлено, що при двох підвідних патрубках сушильного агенту прямокутного перерізу досягається покращення гідродинамічної обстановки в сушарці.

Також проведено моделювання гідродинаміки потоків у сушарці з трьома прямокутними підвідними патрубками сушильного агенту (рис. 3.21).

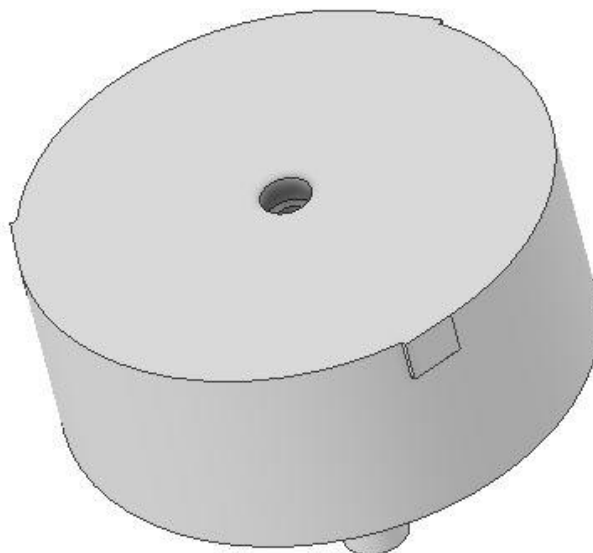


Рис. 3.21. Модель розрахункової області сушарки з трьома підвідними патрубками сушильного агенту

Результати моделювання гідродинаміки потоків у такій розрахунковій області представлені на 3.22.-3.24.

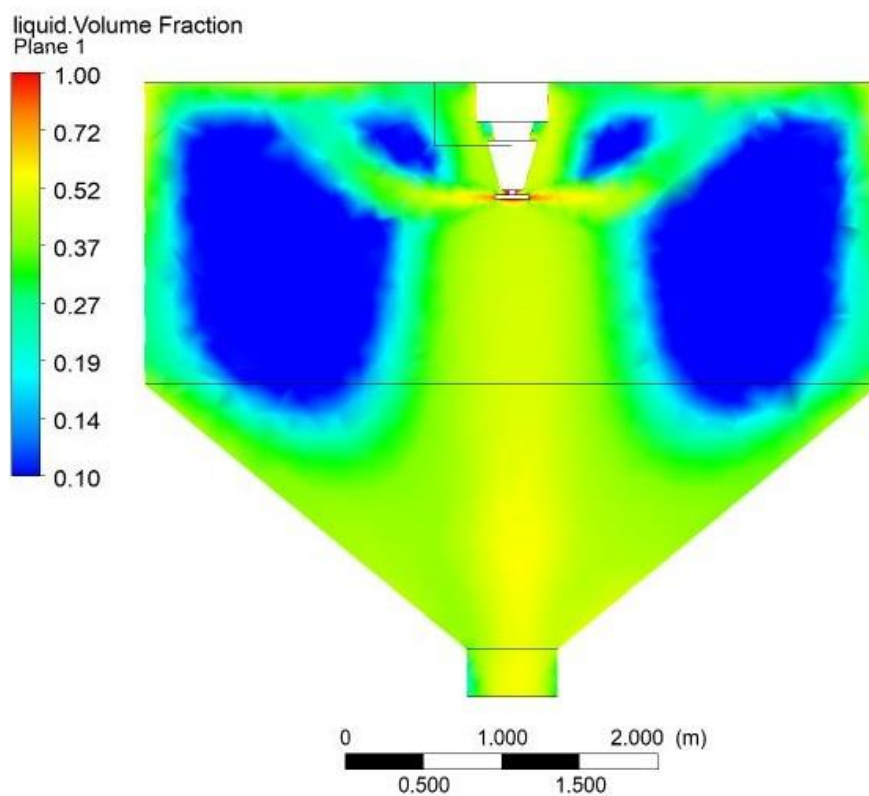


Рис. 3.22. Розподілення рідини в сушарці

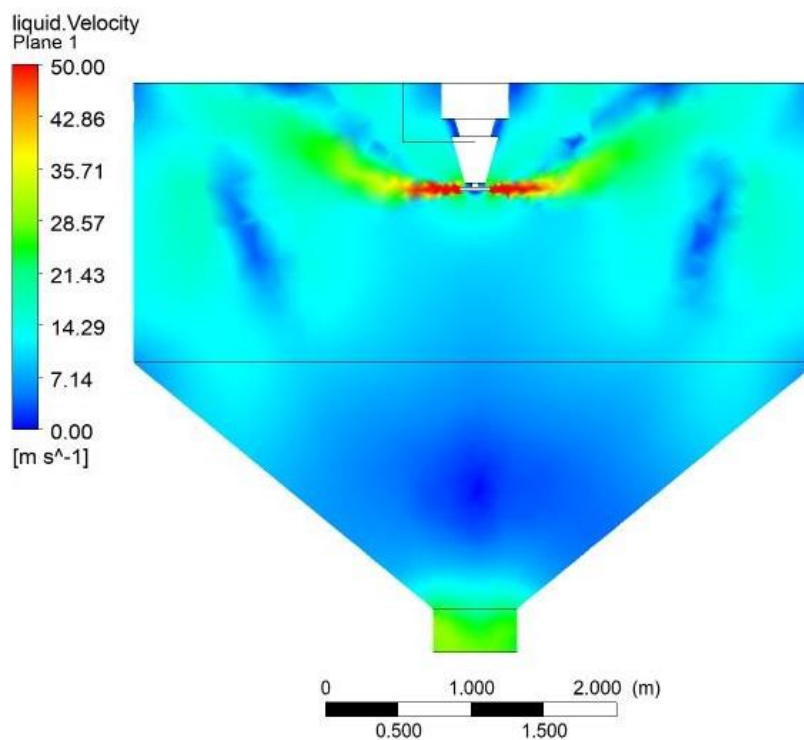


Рис. 3.23. Розподілення швидкості рідини в сушарці

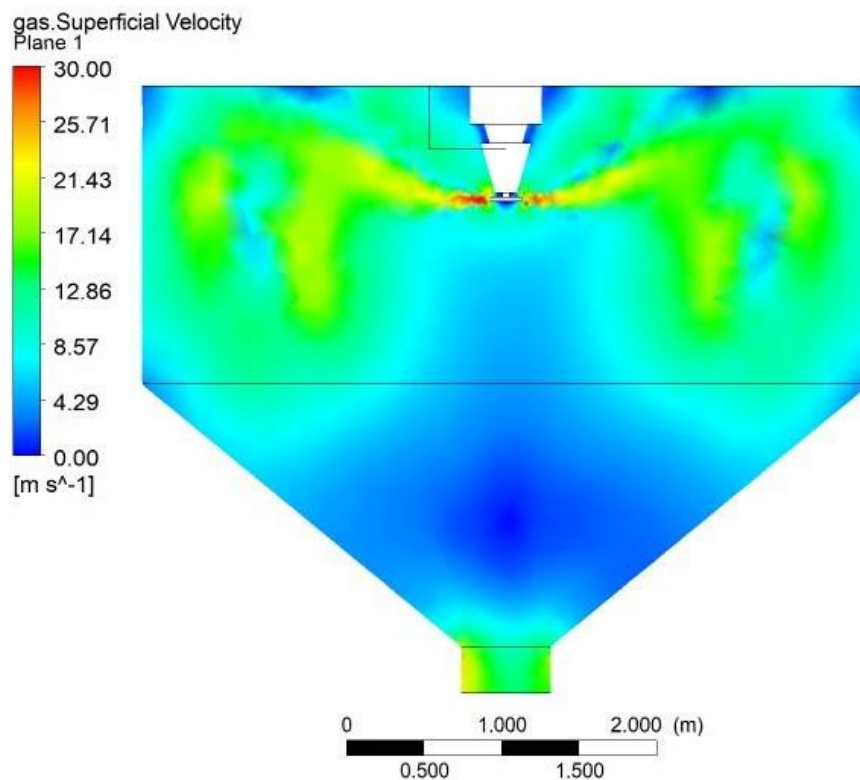


Рис. 3.24. Розподілення швидкості повітря в сушарці

Додатково було змодельовано гідродинаміку потоків в сушарці з чотирма підвідними патрубками сушильного агенту (рис. 3.25)

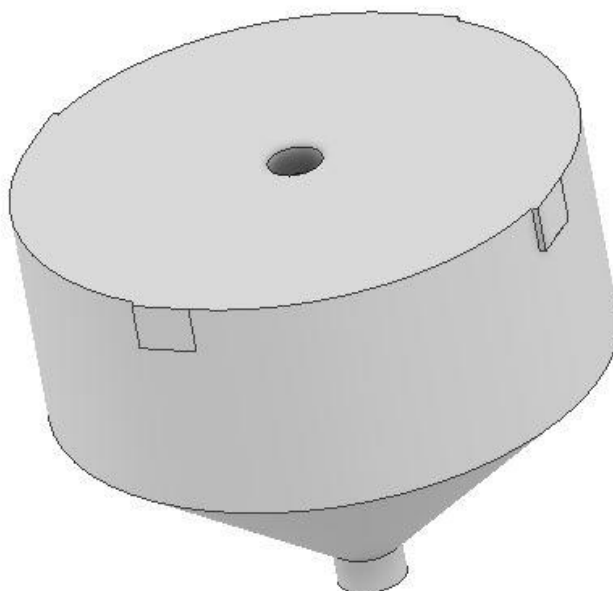


Рис. 3.25. Модель розрахункової області сушарки з чотирма підвідними патрубками сушильного агенту

Результати числового моделювання гідродинаміки потоків у такій розрахунковій області зображені на 3.26.-3.28.

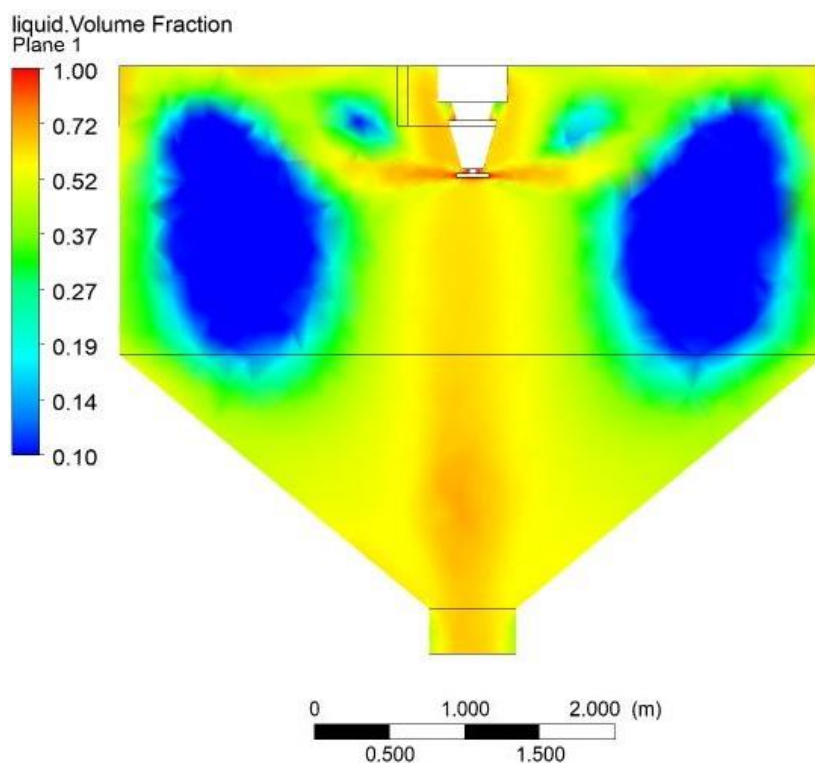


Рис. 3.26. Розподілення рідини в сушарці

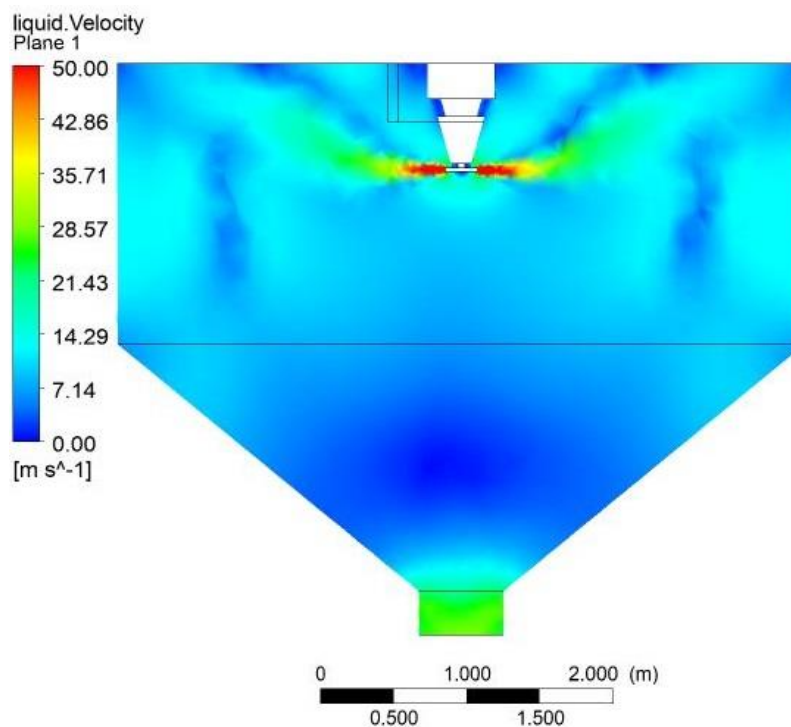


Рис. 3.27. Розподілення швидкості рідини в сушарці

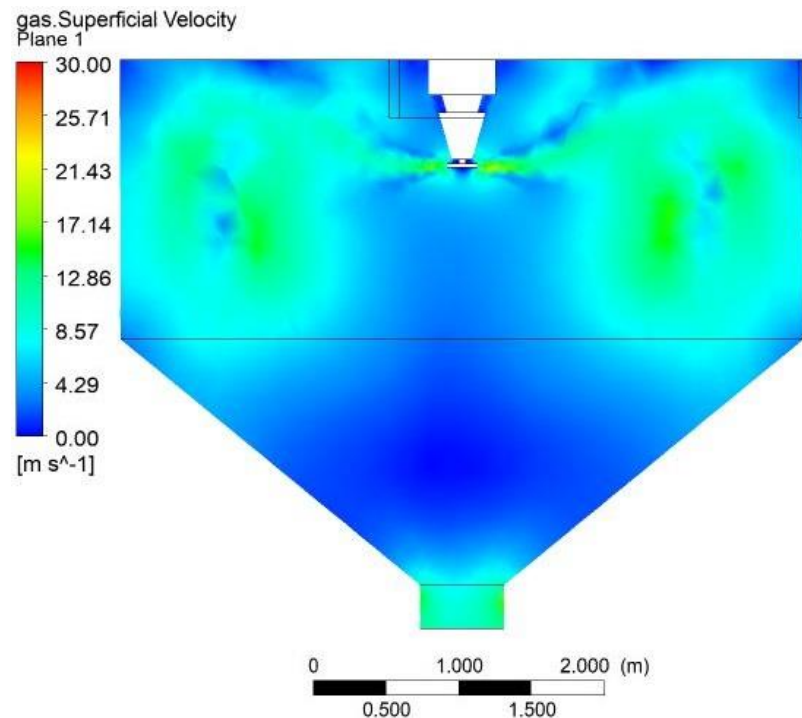


Рис. 3.28. Розподілення швидкості повітря в сушарці

Порівняння результатів моделювання по розподіленню рідини в сушарці з прямокутною формою підвідних патрубків показало, що збільшення кількості підвідних патрубків до трьох покращує розподілення рідини (зменшує концентрацію рідини) в зонах можливого налипання на стінки сушарки. Збільшення кількості підвідних патрубків до 4-х викликає погіршення розподілення рідини, що викликано зменшенням швидкості сушильного агенту.

Порівняння результатів проведеного моделювання показало, що зміна форми підвідних патрубків з круглої на прямокутну привела (при однаковій їх кількості) до покращення гідродинамічної обстановки в сушарці.

3.3.3. Результати дослідження гідродинаміки потоків у сушарці з комбінованим підведенням сушильного агенту, їх аналіз

Змодельовано гідродинаміку потоків у сушарці з комбінованим підведенням сушильного агенту: через підвідний патрубок круглого перерізу

у верхній частині сушарки та підвідні канали прямокутного перерізу під ним (рис. 3.29).



Рис. 3.29. Модель розрахункової області сушарки з комбінованим підведенням сушильного агенту

На рис. 3.30-3.22 представлено результати моделювання при тьох підвідних каналах сушильного агенту.

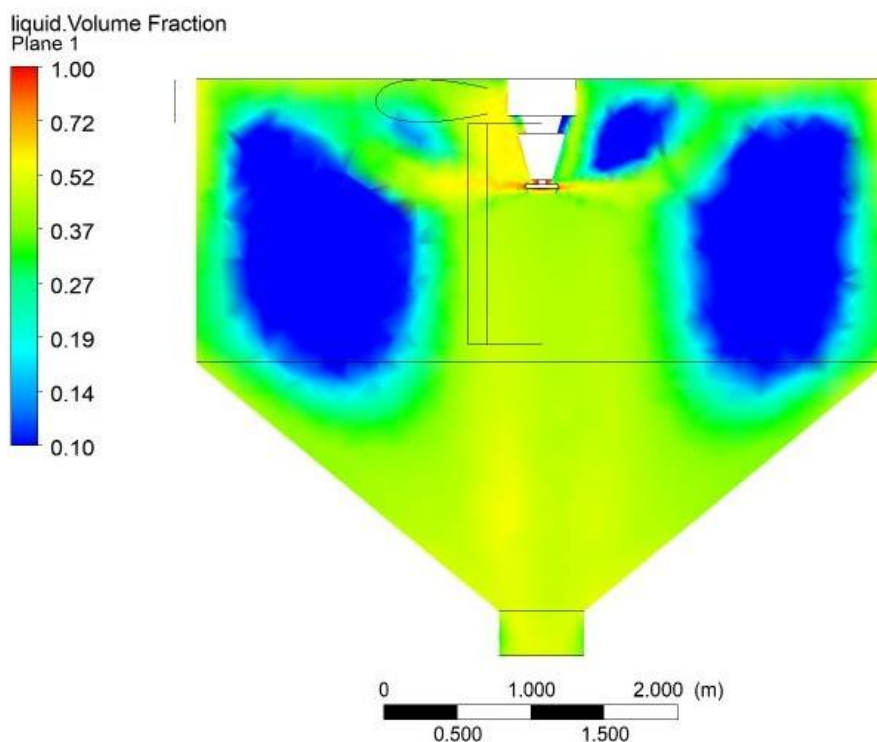


Рис. 3.30. Розподілення рідини в сушарці

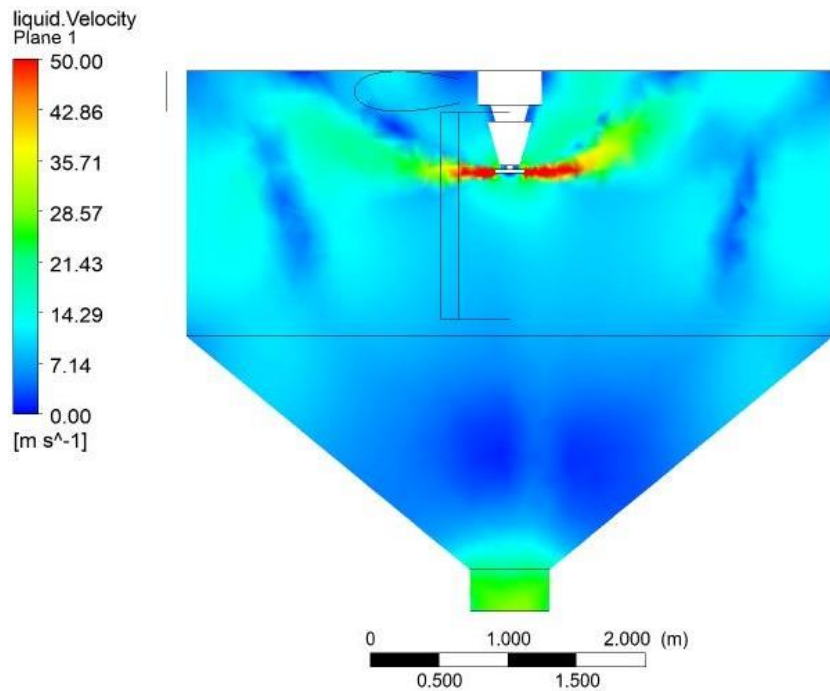


Рис. 3.31. Розподілення швидкості рідини в сушарці

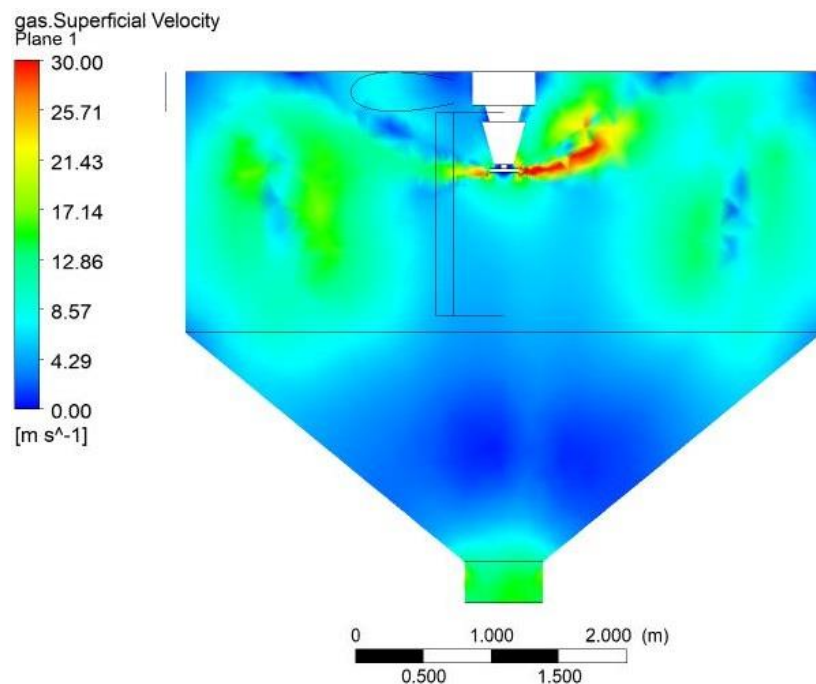


Рис. 3.32. Розподілення швидкості повітря в сушарці

Таке підведення сушильного агента є нераціональним, оскільки присутня значна асиметричність розподілення параметрів потоків відносно вертикальної осі сушарки.

Також змодельовано гідродинаміку потоків при чотирьох підвідних каналах сушильного агенту. Результати моделювання представлено на рис. 3.33-3.25.

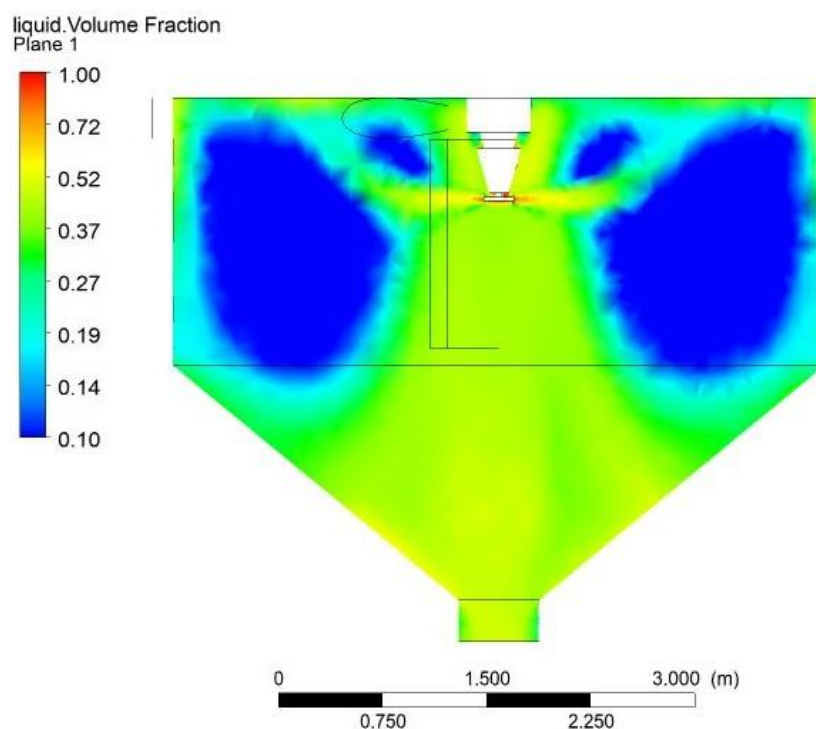


Рис. 3.33. Розподілення рідини в сушарці

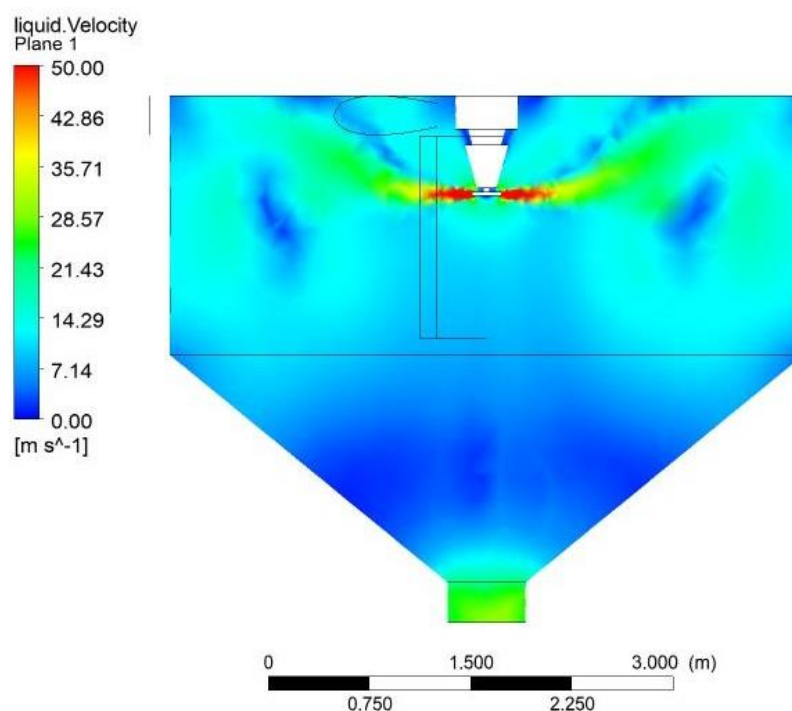


Рис. 3.34. Розподілення швидкості рідини в сушарці

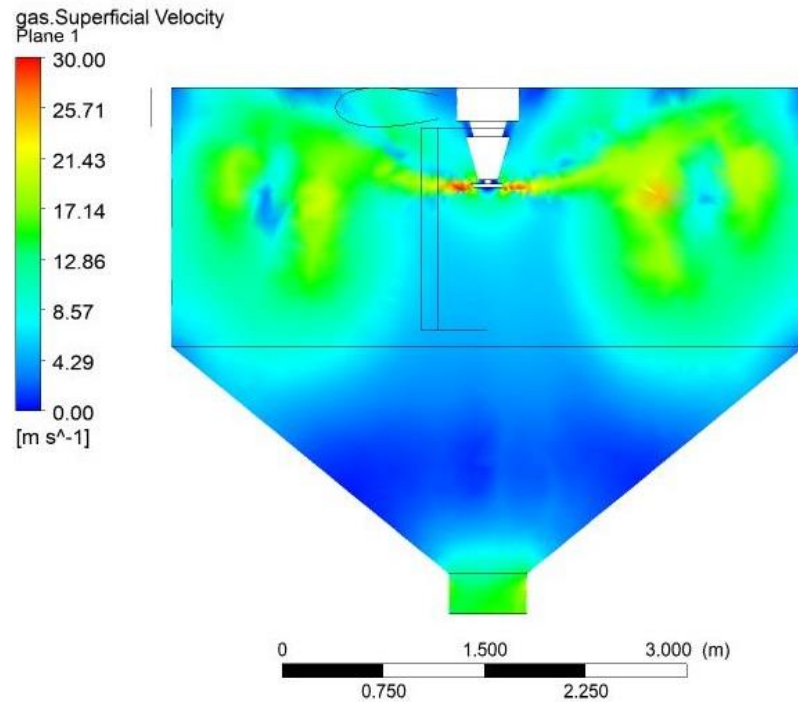


Рис. 3.35. Розподілення швидкості рідини в сушарці

Підведення сушильного агенту через один патрубок круглого перерізу та чотири канали прямокутного перерізу покращує розподілення рідини поблизу стінки сушарки (в зонах налипання).

Порівняння результатів моделювання при такому підведенні сушильного агенту та при його підведенні через один патрубок круглого перерізу (рис. 3.4-3.6), тобто з базовим варіантом, показує однозначні переваги комбінованого способу підведення – через один патрубок круглого перерізу та чотири канали прямокутного перерізу.

Для випадку комбінованого підведення сушильного агенту також проводилося моделювання при різній його витраті через верхній та нижні підводи. Результати такого моделювання були незадовільними (погіршення розподілення потоків), тому вони в кваліфікаційній роботі не наводяться.

3.4. Устрій та принцип роботи модернізованого об'єкту проектування

Із метою інтенсифікації процесу розпилювального сушіння в даній кваліфікаційній роботі пропонується на основі результатів проведених

досліджень вдосконалити систему підведення сушильного агенту у прийняту за прототип сушарку СРЦ, а саме виконати додаткове підведення сушильного агенту через чотири тангенційно розміщені підвідні патрубки прямокутного перерізу у циліндричній частині корпусу сушарки. За рахунок цього знижується ймовірність налипання матеріалу, який розпилюється розпилювальним диском, на стінки сушарки, що приводить до підвищення ефективності її роботи.

На рис. 3.36 представлено вдосконалену конструкцію розпилювальної сушарки СРЦ, у якій підведення сушильного агенту є комбінованим: через патрубків круглого перерізу та чотири патрубки прямокутного перерізу.

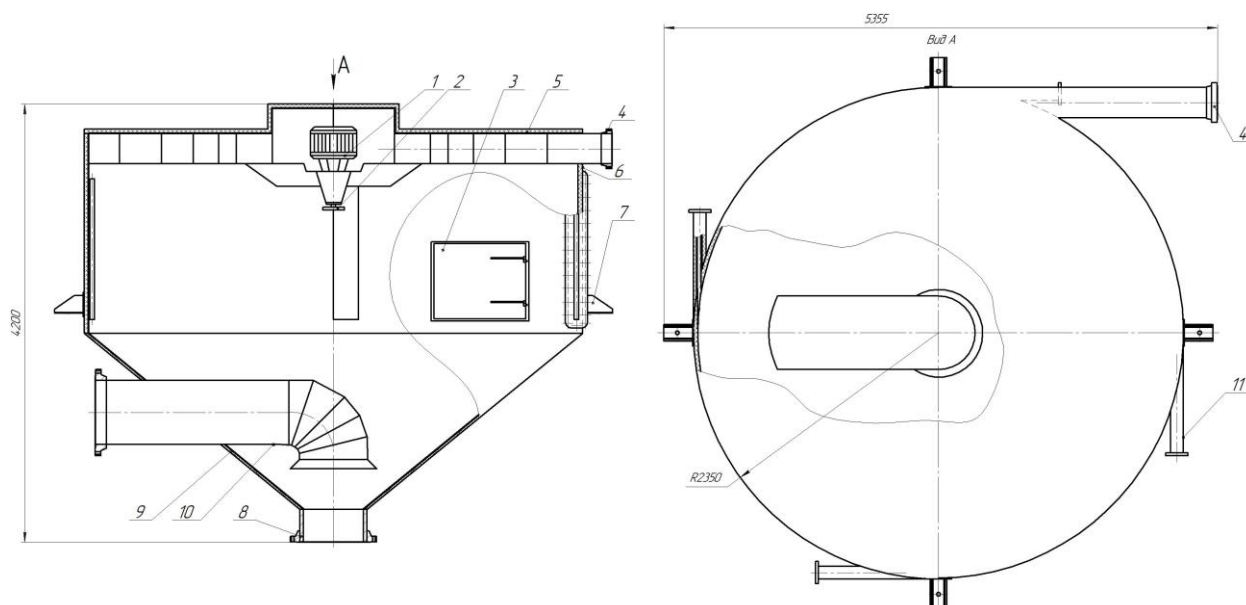


Рис. 3.36. Сушарка СРЦ

- 1 – привід диску розпилювального; 2 – диск розпилювальний; 3 – люк;
 4 – патрубків для підведення сушильного агенту; 5 – кришка; 6 – корпус циліндричний; 7 – опора; 8 – патрубків для відведення висушеного продукту;
 9 – днище конічне; 10 – патрубків для відведення відпрацьованого сушильного агенту; 11 – патрубків підведення сушильного агенту

Верхня частина корпусу сушарки має циліндричну форму, де і відбувається основне сушіння продукту: диспергування рідини, взаємодія крапель із сушильним агентом, рух висушених частинок до конічного днища

сушарки. Нижня частина корпусу сушарки має конічну форму для зсипання висушеного матеріалу до патрубку відведення висушеного продукту.

До конічного днища сушарки під'єднані трубопроводи для відведення відпрацьованого сушильного агенту та висушеного продукту.

Диспергування рідини, яка подається у сушарку, здійснюється за допомогою розпилювального диску, що обертається. При потраплянні рідини в розпилювальний диск вона набуває відцентрового прискорення і через отвори в ньому диспергується.

Для проведення огляду та технічного обслуговування в циліндричному корпусі сушарки є люк. Корпус сушарки та трубопроводи підведення сушильного агенту покриті теплоізоляцією.

Принцип роботи вдосконаленої сушарки СРЦ полягає в наступному.

Рідина насосом подається в розпилювальний пристрій і диспергується на краплі. Сушильний агент вентилятором подається у дві зони: до факела розпиленої рідини через патрубок круглого перерізу та до стінки циліндричного корпусу через чотири підвідні патрубки прямокутного перерізу. За рахунок взаємодії рідини з газом відбувається висушування матеріалу. При цьому не відбувається налипання продукту на стінки сушарки. Відпрацьований сушильний агент з найбільш дрібними частинками висушеного продукту відводиться з сушарки через бічний патрубок у конічному днищі. В подальшому повітря подається на очищення. Утворений сухий порошок рухається по конічному днищу сушарки і видаляється з неї через нижній патрубок. В подальшому сухих продукт надходить в бункер накопичувач, з якого через отвір із шлюзовим затвором вивантажується та фасується в потрібну упаковку.

3.5. Висновки

Проведене дослідження із застосуванням CFD моделювання в програмі Ansys підтвердило можливість налипання вологого матеріалу на стінки

розпилювальної сушарки, що призводить до зниження ефективності її роботи.

Для усунення даного недоліку запропоновано виконати додаткове підведення сушильного агенту в сушарку. На основі результатів проведених досліджень рекомендується виконати підведення сушильного агенту через патрубок круглого перерізу у верхній частині сушарки та чотири патрубки (канали) прямокутного перерізу під ним.

4. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

4.1. Вихідні дані для проведення розрахунків

Конструкція сушарки – СРЦ;

Спосіб розпилення – дисковий;

$t_1 = 140\text{ }^{\circ}\text{C}$ – температура сушильного агенту;

$G_1 = 500\text{ кг/год}$ – початкова маса матеріалу;

$\omega_1 = 88\%$ – вологість матеріалу до сушіння;

$\omega_2 = 7\%$ – вологість матеріалу після сушіння;

$W = 430\text{ кг/год}$ – продуктивність;

$A = 3,2\text{ кг/(м}^3\cdot\text{год)}$ – напруження об'єму сушарки по вологі;

$D_k = 4,7\text{ м}$ – діаметр сушильної камери.

4.2. Розрахунок продуктивності сушарки по сировині та висушеному матеріалу

Продуктивність сушарки і кількість води, яка видаляється, визначаються із рівняння матеріального балансу сухих речовин.

Продуктивність сушарки G_2 по висушеному матеріалу при відомій початковій масі матеріалу G_1 розраховують за формулою:

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

де ω_1, ω_2 – вологість матеріалу до і після сушіння відповідно, %.

$$G_2 = 500 \frac{100 - 88}{100 - 7} = 65\text{ кг/год}$$

Кількість води, яка випарюється:

$$W = G_1 - G_2$$
$$W = 500 - 65 = 435\text{ кг/год}$$

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Слюсенко А.М.	Вид документа Пояснювальна записка		Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Бережинський М.В.	Назва, додаткова назва Розрахункова частина	22-2134.КР.07.004.ПЗ				
	Документ затверджено Якимчук М.В.		Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 1/17	

4.3. Визначення основних параметрів вологого повітря

Для підтримання визначеного режиму сушіння необхідно знати основні характеристики вологого повітря: відносну вологість φ , питомий вологовміст x , температуру, ентальпію I .

Відносну вологість повітря та температуру задають або визначають як середні значення по кліматичних таблицях районів. Питомий вологовміст повітря визначається за формулою:

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

де 0,622 – відношення молярних мас водяної пари та повітря;

p_n – тиск насиченої пари за даної температури повітря, Па;

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

При $t_0 = 19,3$ °С тиск $p_{n0} = 1,95$ кПа, при $t_1 = 140$ °С тиск $p_{n1} = 361,36$ кПа, при $t_2 = 70$ °С тиск $p_{n2} = 31,10$ кПа.

Для м. Київ приймаємо $\varphi_0 = 69\%$, $t_0 = 19,3$ °С.

Тоді:

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

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

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

Стан повітря при відносній вологості $\varphi < 100\%$ визначається будь-якими двома параметрами (температурою або відотною вологістю, вологовмістом, ентальпією) на перетині ліній, які відповідають сталим значенням даних параметрів.

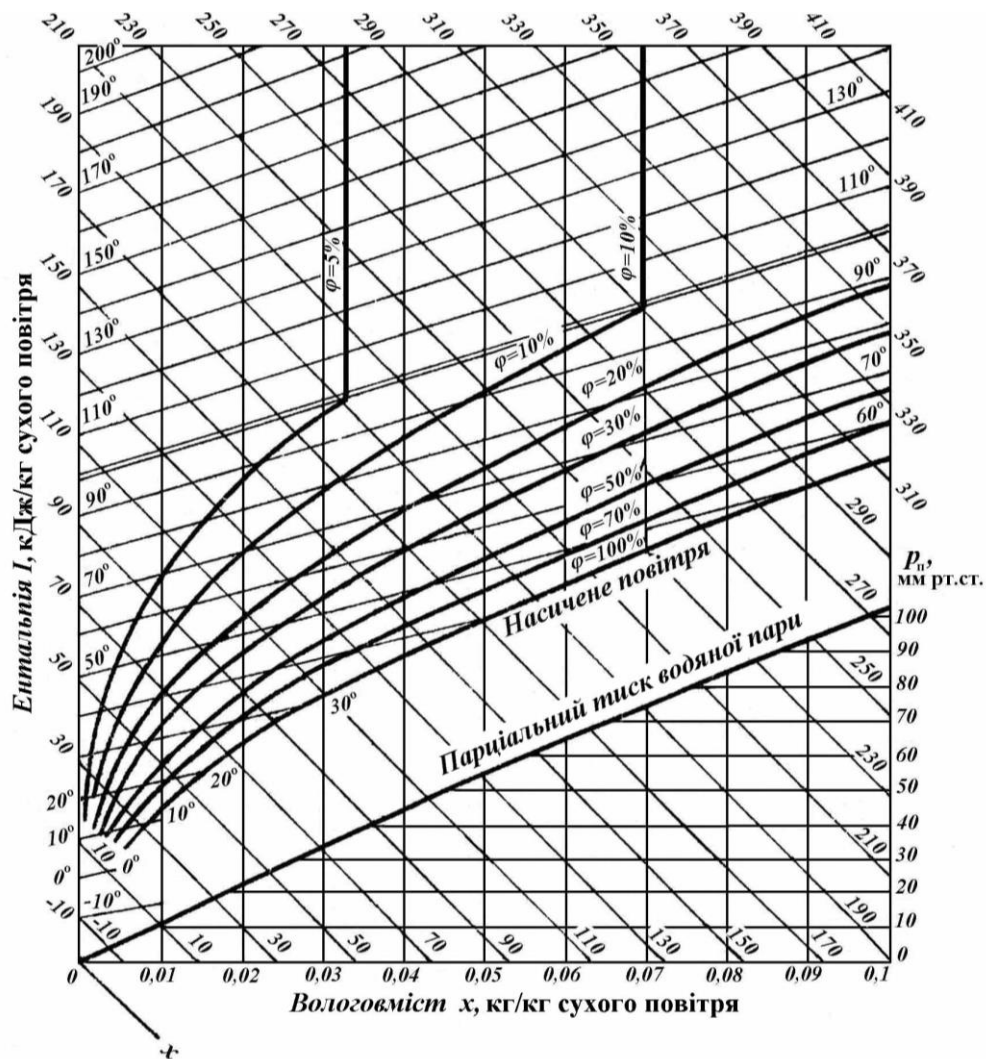


Рис. 4.1. Діаграма I - x вологого повітря

4.4. Визначення витрати повітря в сушарці

В процесі сушіння сушильний агент поглинає з висушуваного матеріалу вологу і виходить з сушарки. При цьому вологовміст повітря зростає від початкового $x_0 = x_1$ до x_2 . Маса абсолютно сухого повітря при достатній герметичності сушарки є практично незмінною. Тому із рівняння матеріального балансу вологи можна визначити витрати абсолютно сухого повітря L у сушарці:

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

$$L = \frac{435}{0,0350 - 0,0085} = 16415 \text{ кг/год}$$

Питому витрату абсолютно сухого повітря l (кількість повітря у кг, витрачену на випаровування 1 кг води), визначають за формулою:

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

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

де v_n – питомий об'єм вологого повітря, який припадає на 1 кг абсолютно сухого повітря, м³/кг

$$v_n = \frac{R_n \cdot T}{B - \varphi p_n}$$

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

де R_n – газова стала, Дж/(кг·К) для повітря $R_n = 287$ Дж/(кг·К).

T – абсолютна температура повітря, К.

При відомій об'ємній витраті повітря визначається швидкість повітря у сушильній камері, яка характеризує режим сушіння та втрати теплоти у навколишнє середовище, що дозволяє розрахувати і підібрати вентилятор. Тому, об'ємну витрату сушильного агента визначають по параметрам, які характеризують його на вході у вентилятор, сушарку та на виході із неї.

Матеріальний баланс:

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

$$\frac{435}{0,0350 - 0,0085} - 16415 = 0$$

4.5. Тепловий розрахунок

Розглянемо тепловий баланс сушарки.

Подача теплоти. Теплота, яка вноситься у сушарки:

- 1) повітрям та вологою, яка присутня в ньому, і вологим матеріалом;
- 2) устаткуванням і транспортними засобами;
- 3) від нагрівальних елементів.

Витрата тепла. Тепло, яке виходить з:

- 1) повітрям;
- 2) висушуванням матеріалом;
- 3) транспортними засобами;
- 4) втрати у навколишнє середовище.

Запишемо рівняння теплового балансу процесу сушіння:

$$LI_1 + G_1 C_1 \theta_1 = LI_2 + G_2 C_2 \theta_2 + \theta_{\text{вит}} = L(I_2 - I_1) = G_1 C_1 \theta_1 - G_2 C_2 \theta_2 - \theta_{\text{вит}}$$

де C – питома теплоємність матеріалу, який висушується, кДж/(кгК) для кроку $C = 3,88$ кДж/(кгК);

$\theta_{\text{вит}}$ – втрати в навколишнє середовище.

Для знаходження цих втрат тепла визначаємо ентальпію повітря. Ентальпію вологого повітря розраховують як суму ентальпій сухого повітря та водяної пари, що припадає на 1 кг сухого повітря:

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

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

$$I_2 = 1,004 \cdot 70 + 0,0350 \cdot 2461,94 = 156,44 \text{ кДж/кг}$$

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

де $c_{\text{с.п}}$ – середня питома теплоємність сухого повітря кДж/(кг·К) (при $t < 200$ °С $c_{\text{с.п}} = 1,004$ кДж/(кг·К) ;

t – температура вологого повітря, °С;

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

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

Питому ентальпію розраховують за формулою:

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

де r_0 – питома теплота пароутворення води, кДж/кг (при $t_0 = 19,3$ °С $r_0 = 2449,2$ кДж/кг)

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

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

$$i_{п2} = 2333,0 + 1,842 \cdot 70 = 2461,94 \text{ кДж/кг}$$

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

Праву і ліву частину даного рівняння віднесемо до 1 кг випареної вологи у сушарці:

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

де Δ – кількість теплоти, котра вноситься в камеру сушарки, або витрачається нею, Дж на 1 кг випареної вологи.

Величина Δ може бути, як додатною, так і від'ємною у залежності від значення складових теплового балансу. Для визначення Δ необхідно знати втрати теплоти у навколишнє середовище, що стає можливим після розрахунку теплової ізоляції сушарки.

4.6. Розрахунок основних робочих параметрів

До основних параметрів сушильної камери відносяться діаметр краплі, на які диспергується матеріал, швидкість витання частинок, радіус факела розпилення.

Швидкість повітря у сушильній камері визначається за формулою:

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

Питомі втрати теплоти у навколишнє середовище визначають при відомій швидкості повітря у сушильній камері, яку можна приблизно визначити, якщо побудувати теоретичний процес сушіння при умові, що параметри повітря на виході з сушарки невідомі.

Початкова швидкість краплі і її діаметр, радіус факела розпилення залежать від конструкції розпилювача. При дисковому розпиленні v_{π} може відповідати коловій швидкості диска, яка досягає 180 м/с.

Мінімальна колова швидкість диска має бути не менше ніж 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. Прийнявши колову

швидкість і розміри диска, визначають його частоту обертання і виконують розрахунок привода.

Діаметр крапель рідини при дисковому розпиленні можна визначити за формулою:

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

де n – частота обертання диска, хв^{-1} ;

ρ_M^n – початкова густина матеріалу, кг/м^3 ;

R_D – радіус диска, м.

Діаметр крапель, який визначають за вищенаведеною формулою, відповідає розміру найбільших крапель рідини.

В. Д. Андреев для визначення розміру крапель рекомендує таку формулу:

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

Середній діаметр крапель становить 5...100 мкм.

Приймаємо $\rho_M^n = 1030 \text{ кг/м}^3$, $\omega = 180 \text{ м/с}$

$$d = \frac{0.0425}{\sqrt[3]{1044,4 \cdot 180^2}} = 131 \text{ мкм}$$

Згідно літературних даних поверхневий натяг рідини становить $\sigma = 0,568 \cdot 10^{-5} \text{ Н/м}$. Зазвичай діаметр диску становить 270...320 мм (прийmemo $D_d = 300 \text{ мм}$), а його частота обертання коливається в межах 6000...45000 об/хв.

Знайдемо частоту обертання диска, радіус диска приймаємо $R = 0,15 \text{ м}$

$$n = \frac{30\omega_n}{\pi R} = \frac{30 \cdot 180}{3,14 \cdot 0,15} = 11465 \text{ хв}^{-1}$$

$$d = 98.5 \frac{1}{n} d = 98.5 \cdot \frac{1}{11465} \sqrt{\frac{0,568 \cdot 10^{-5}}{1044,4 \cdot 0,15 \cdot 9,81}} = 0,5 \text{ мкм}$$

Середній діаметр крапель у сушарках при дисковому розпиленні знаходиться у межах 5...100 мкм (прийємо $d = 50$ мкм). Після визначення діаметра краплі можна розрахувати радіус факела розпилення:

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

де d – діаметр краплі, м;

$\rho_{\text{м}}^{\text{ср}}$ – середня густина матеріалу, який диспергується, кг/м³;

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

де $\rho_{\text{м}}^{\text{н}}, \rho_{\text{м}}^{\text{к}}$ – густина матеріалу до початку і у кінці процесу сушіння відповідно, кг/м³;

$c = 1,4$ – коефіцієнт,

$\rho_{\text{п}}$ – густина повітря, кг/м³; $\rho_{\text{п}} = 0,827$ кг/м³

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

$v_{\text{к}}$ – кінцева швидкість польоту краплі м/с (рекомендується $v_{\text{к}} = 0,35$ м/с.

$$R_{\Phi} = \frac{21,7 \cdot 50 \cdot 10^{-6} \cdot 1072,2}{1,4 \cdot 0,827} \lg \frac{200}{0,35} = 2,8 \text{ м}$$

Швидкість руху повітря у сушарках із висхідним потоком повинна бути меншою ніж швидкість витання частинок: $v < v_{\text{вит}}$. Значення $v_{\text{вит}}$ орієнтовно можна визначити за законом Стокса:

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

$$v_{\text{вит}} = \frac{9,81 \cdot 0,000131^2 \cdot (1100 - 0,827)}{18 \cdot 2,35 \cdot 10^{-5}} = 0,437 \text{ м/с}$$

де 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 дисків зазвичай зводиться до визначення форми та розміру отворів у розпилювальних дисках.

4.7. Підбір конструкційних матеріалів

Деталі розпилювальної сушарки для сушіння продуктів виготовляються з наступних матеріалів (табл. 4.1).

Таблиця 4.1. Матеріали для виготовлення деталей сушарки

Найменування деталі	Матеріал деталі
Корпус сушарки (внутрішній)	нержавіюча сталь 12Х18Н10Т ДСТУ 4738:007
Трубопроводи	корозієстійка сталь 12Х18Н10Т ДСТУ 4738:007
Вузли, що контактують з продукцією	корозієстійка сталь 12Х18Н10Т ДСТУ 4738:007
Розпилювач	корозієстійка сталь 12Х18Н10Т ДСТУ 4738:007
Корпус сушарки (зовнішній)	сталь Ст3 ДСТУ 2651:2005
Теплоізоляція	совеліт
Деталі та вузли підігрівача повітря	сталь 10 ДСТУ 4738:007
Трубопроводи гарячого повітря	сталь 10 ДСТУ 4738:007
Циклони	сталь 12Х17 ДСТУ 4738:007
Ущільнююча набивка	азбестовий шнур

4.8. Технологія машинобудування

В якості виробу для розроблення технологічної схеми та маршруту складання обрано роторно-шлюзовий дозатор, який використовується для вивантаження сухого матеріалу, отриманого в розпилювальній сушарці, з бункера-накопичувача.

Конструкція шлюзового дозатора представлена на (рис. 4.2). Він складається з корпусу 1 із завантажувально-розвантажувальними штуцерами, а також ступінчастим валом 2 і ротором 28, що кріпиться за допомогою втулок 21 і гайок 9. Корпус закритий двома кришками – передньою 3 і

В таблиці 4.2 подано комплектацію шлюзового дозатора.

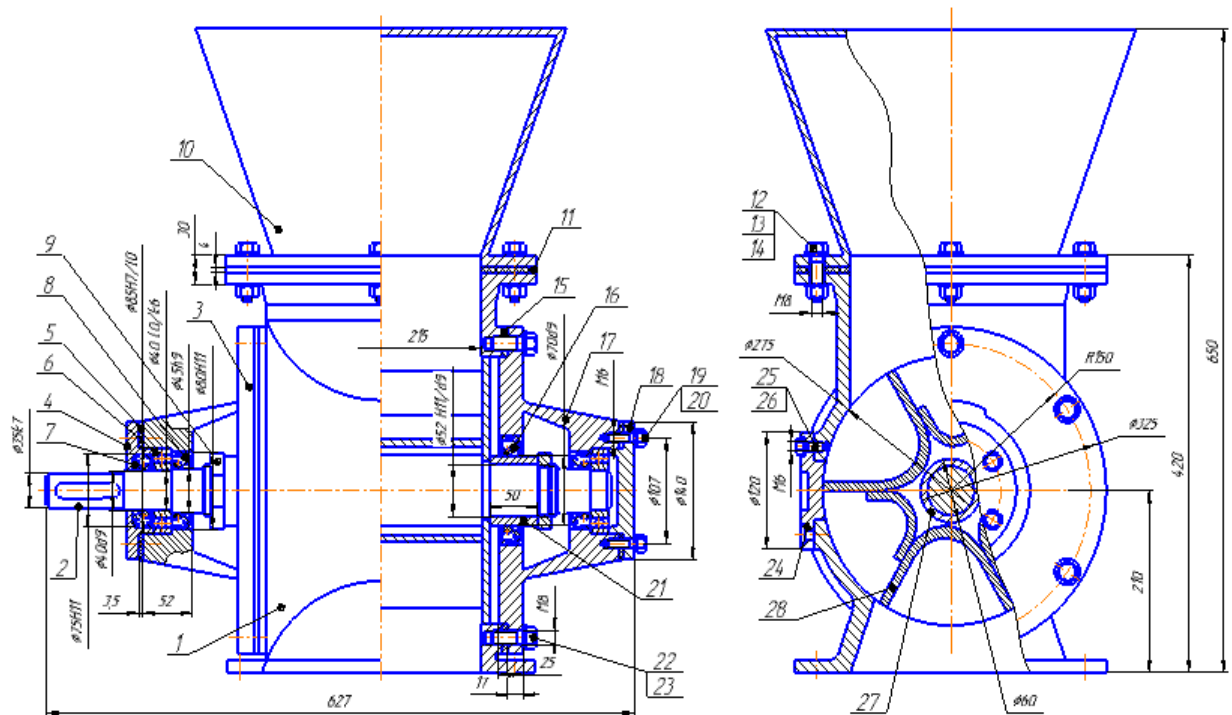


Рис. 4.2. Шлюзовый дозатор

Таблиця 4.2. Комплектація шлюзового дозатора

<i>№ Позиції</i>	<i>Найменування</i>	<i>Кількість</i>
1	Корпус	1
2	Вал	1
3	Передня кришка	1
4	Кришка підшипника наскрізна	1
5	Прокладка	2
6	Підшипник роликовий	2
7	Манжета	1
8	Манжета	2
9	Гайка	2
10	Бункер	1
11	Прокладка	1
12	Болт М8 х 50	6
13	Шайба 8	6
14	Гайка М8	6
15	Прокладка	2
16	Манжета	2
17	Задня кришка	1
18	Кришка підшипника глуха	1
19	Болт М6 х 30	6
20	Шайба 6	6
21	Втулка	2
22	Болт М8 х 35	6
23	Шайба 8	6
24	Кришка оглядова	1
25	Болт М6 х 20	6
26	Шайба 6	6
27	Труба	1
28	Ротор	1

З аналізу конструкції шлюзового дозатора (рис. 4.2) виділено складальні одиниці 1-го порядку (Ск.1 – корпус дозатора, Ск.2 – вал дозатора, Ск.3 – передня кришка, Ск.4 – задня кришка) та окремі деталі (болти 12, прокладки 5, гайки 14, манжети 16, шайби 13).

Схема складання шлюзового дозатора представлена на рис. 4.3.

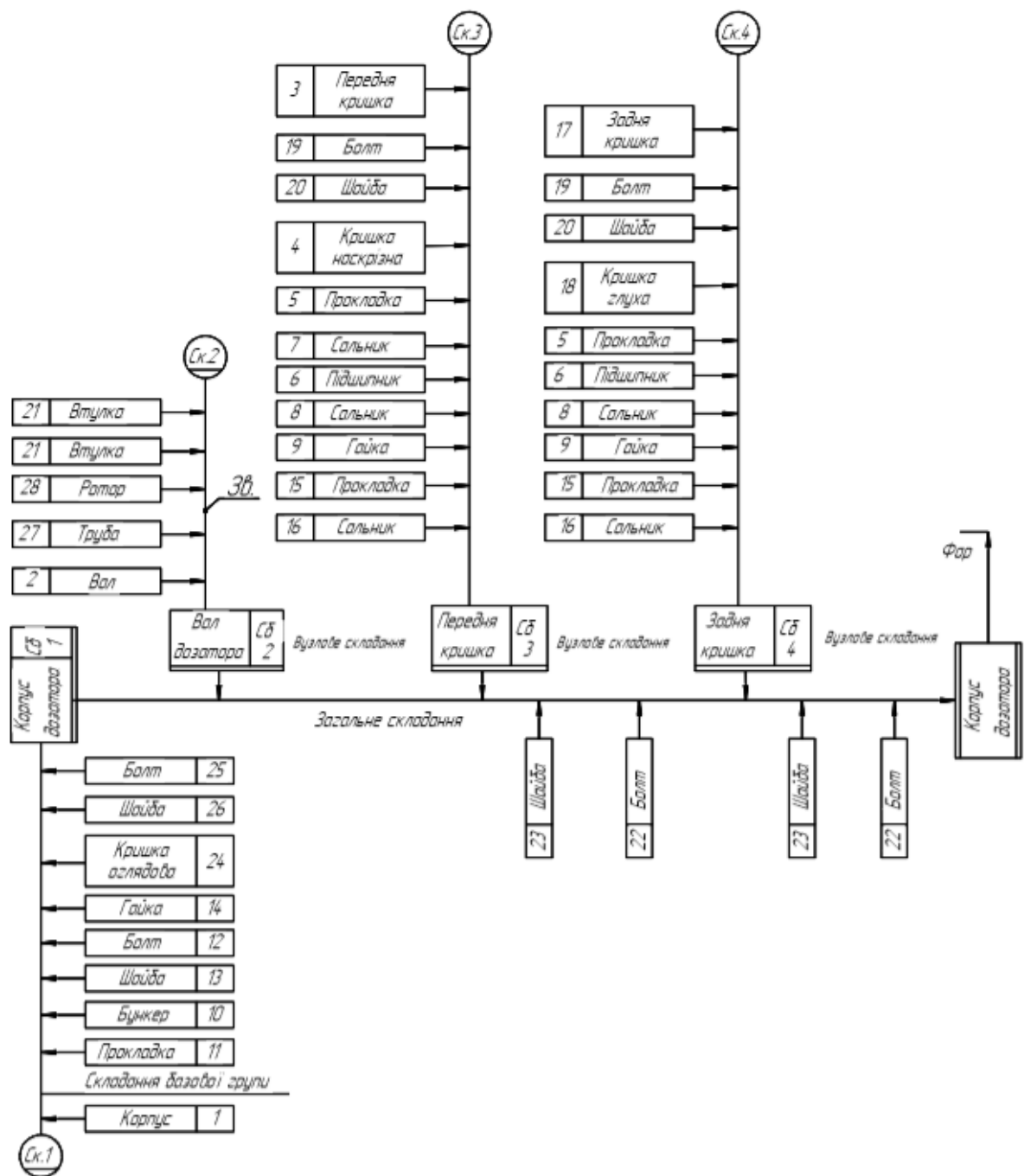


Рис. 4.3. Схема складання шлюзового дозатора

Вертикальними лініями із стрілками вказано порядок складання окремих вузлів, а горизонтальними лініями в центрі схеми – порядок з'єднання складальних вузлів 1-го порядку за допомогою стандартних деталей. У квадратах знаходяться назви деталей та номери їхніх позицій на кресленні, а в квадратах з двома товстими лініями вказано найменування складальних вузлів

1-го порядку. Використовуються умовні позначення, що містять технологічні вказівки: Зв. – зварювання, Фар. – фарбування.

Технологічний маршрут складання шлюзового дозатора подано в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3. Технологічний маршрут складання шлюзового дозатора

Етап	Номер переходу та його зміст
10. Збирання корпусу (Ск. 1)	10.1. Установити корпус дозатора 10.2. Установити прокладку 11 10.3. Установити бункер 10 10.4. Закріпити корпус з бункером за допомогою гвинтового з'єднання М8х50. 10.5. Встановити оглядову кришку 24 10.6. Затиснути гвинтом з шайбами М6х20
20. Збирання вала (Ск. 2)	20.1. Установити вал на призми і закріпити його 20.2. Приварити ротор 28 до труби 27 20.3. На внутрішню поверхню труби нанести мастило 20.4. В зварений ротор запресувати вал 20.5. Запресувати на вал дистанційну втулку 21 20.6. Запресувати на вал другу дистанційну втулку 21 з іншої сторони 20.7. Установити складальний вузол «Ск.2» у корпус «Ск.1»
30. Збирання передньої кришки. (Ск.3)	30.1. Установити кришку на складальному столі 30.2. Запресувати манжету 16 в кришку 30.3. Запресувати манжету 8 в кришку 30.4. Змастити мастилом підшипник 6 30.5. Запресувати підшипник в кришку 30.6. Установити гайку 9 в люк кришки 30.7. Вдіти прокладку 15 на кришку 30.8. Встановити складальний вузол Ск.3 в Ск.1, при цьому закручуючи гайку 9 30.9. Прикріпити складальний вузол Ск.3 до корпусу болтами М8х35 30.10. Запресувати манжету 7 у кришку 4 30.11. Вдіти прокладку 5 30.12. Установити кришку 4 у збиральний вузол Ск.3 30.13. Закрутити в кришку 3 болти 19 із шайбою

40. Збирання задньої кришки. (Ск.4)	40.1. Установити кришку на складальному столі. 40.2. Запресувати манжету 16 в кришку 40.3. Запресувати манжету 8 в кришку 40.4. Змастити підшипник 6 мастилом 40.5. Запресувати підшипник в кришку 17 40.6. Встановити гайку 9 в люк кришки 40.7. Надіти прокладку 15 на кришку 40.8. Встановити складальний вузол Ск.4 в Ск.1, при цьому закручуючи гайку 9 40.9. Прикріпити складальний вузол Ск.4 до корпусу болтами М8х35. 40.10. Надіти прокладку 5 на кришку 18 40.11. Встановити кришку 18 у збиральний вузол 40.13. Закрутити в кришку 17 болти 19 із шайбою
---	---

4.9. Правила монтажу та технічного сервісу модернізованого обладнання

Монтаж розпилювальної установки

При виконанні монтажних робіт рекомендується керуватися технічною документацією та проектом будівельно-монтажних робіт.

При підготовці сушильної установки до монтажних робіт всі її комплектуючі доставляються на місце монтажу та розміщуються в тому порядку, в якому будуть проводитися роботи згідно технічного завдання розробника.

Перед монтажем необхідно ретельно очистити обладнання від іржі. Сушарку встановлюють на фундамент. Після встановлення сушарки заливають бетоном фундаментні болти. По застиганню бетону необхідно затягнути гайки фундаментних болтів і перевірити по рівню положення сушарки. Гайки повинні бути затягнуті з необхідним зусиллям. Наступним кроком є встановлення додаткового обладнання.

Розташування засобів контролю та керування повинно бути таким, щоб вони не заважали експлуатації та обслуговуванню сушарки. Для уникнення ураження електричним струмом обладнання повинно бути заземленим. Встановлюється захисне огородження.

По закінченні монтажних робіт перевіряється надійність з'єднань двигуна та напрямок обертання, з'єднання датчиків і пристроїв, звукова та світлова сигналізація, герметичність труб і повітропроводів.

Технічний сервіс сушарки

Підготовка сушарки до запуску. Перед початком роботи обслуговуючий персонал повинен переконатися, що всі елементи сушарки в працездатному стані, трубопроводи герметичні, вузли змащені. Потрібно продути всі повітропроводи та прогріти сушку. Увімкнути головний витяжний вентилятор на пару хвилин для очищення. Після припинення роботи вентилятора повітропроводи сушарки очистити від залишків висушеного продукту. Під час роботи сушарки ступінь висихання продукту має контролюватися оператором. Про неповне висихання продукту свідчить падіння крапель продукту на стінки сушарки.

Робота сушарки. Робота сушарки контролюється приладами, розташованими на пульті управління. Візуальне спостереження також можливе через вікно в дверях сушарки. До того, як частинки висушеного продукту почнуть падати на дно сушарки, повинен бути ввімкненим витяжний і транспортний вентилятори. Під час роботи сушарки перевіряють тиск пари, роботу розпилювача, температуру та вологу сушильного агента та висушуваного матеріалу.

Зупинка сушарки. Після зупинки сушарки потрібно повідомити в котельню про припинення подачі пари. Припиняється подача продукту до розпилювача. У той же час вимикається насос і двигун та закривається паровий клапан. Після охолодження сушарки виконується її очищення зсередини. Промивають трубопроводи, живильні насоси.

Технічне обслуговування, ремонт та налагоджування сушарки. Технічне обслуговування полягає в щоденному контролі за роботою сушарки під час її експлуатації. Це включає, зокрема, огляд та спостереження за

роботою механізмів і обладнання в цілому, миття та санітарне оброблення обладнання, огляд трубопроводів і їх з'єднань.

Основні види зносу трубопроводів характеризуються негерметичністю фланцевих з'єднань і корозією металу. Болтові з'єднання на фланцях підтягуються, а зношені прокладки замінюються новими. За потреби виконується заміна трубопроводу.

Під час роботи сушарки зношується внутрішня поверхня розпилювального пристрою. При цьому збільшується поперечний переріз каналів для проходження рідини, внаслідок чого збільшується кількість продукту, що розпилюється в сушильній камері, і, як наслідок, видалення вологи з продукту не відбувається повністю. Зношені розпилювачі замінюють на нові.

Налагодження розпилювальної сушарки в основному полягає в усуненні несправностей, які виникають при її роботі. У таблиці 1 наведено перелік характерних несправностей, їх причини і способи усунення

Таблиця 4.4. Перелік характерних несправностей, їх причини і способи усунення

Несправність	Причина	Спосіб усунення
Погане розпилення продукту	Засмітилася форсунка для подачі продукту	Розібрати і прочистити форсунку
Незадовільне сушіння при запуску сушарки	Продукт подається в «холодну» сушарку	До початку подачі продукту прогріти сушарку на протязі 30-40 хв
Незадовільна сушка в процесі роботи	Втрата повітря через нещільності в з'єднаннях каналів або всмоктування холодного повітря. Нерівномірне розподілення повітря в башті з утворенням протитоків і застійних зон	Оглянути з'єднання і усунути нещільності. Перевірити швидкість і напрямок руху повітря в різних точках; забезпечити рівномірне розподілення і рух повітря по всьому перерізу башти

Недостатня подача і відсмоктування повітря з башти	Погано працюють нагнітаючий і всмоктуючий вентилятори. Закритий або засмічений шибер, засмічені повітропроводи	Перевірити роботу вентиляторів і відремонтувати їх. Оглянути і прочистити шибер, очистити повітропроводи
Мала температура повітря, яке надходить в башту	Малий тиск пари у калорифері. Не ізольовані канали для повітря. Поверхня нагріву калорифера не відповідає паспортній	Підвищити тиск пари у калорифері. Ізольовати канали для повітря. Збільшити поверхню нагріву калорифера
У відпрацьованому повітрі на виході з башти накопичується велика кількість частинок сухого продукту	Погано працюють циклони. Нагнітання повітря через шлюзові затвори (дозатори)	Перевірити і усунути несправність в циклонах. Усунути нещільності в шлюзових затворах (дозаторах)
Висушений продукт не вивантажується з башти	Забився вивантажувальний отвір на дні башти. Несправний витяжний вентилятор	Прочистити розвантажувальний отвір. Відремонтувати вентилятор

5. ПРИНЦИПИ АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ ОБ'ЄКТОМ ПРОЕКТУВАННЯ

На сучасному етапі розвитку харчових виробництв є всі умови для комплексної автоматизації виробничих процесів. Автоматизація процесу сушіння забезпечить ефективну роботу всієї технологічної лінії виробництва сухого продукту. При цьому автоматизація управління вимагає відповідної технічної підготовки обладнання та вибору необхідних засобів автоматизації. Мета створення автоматизованої системи управління – підвищення ефективності виробництва сухої продукції.

На рис. 5.1 представлена функціональна схема автоматизації роботи модернізованої розпилювальної сушарки СРЦ. На рис. 5.2 наведено схему підключення приладів контролю та управління для забезпечення роботи даної сушарки в автоматизованому режимі. В табл. 5.1 вказано прилади, які використовуються для автоматизованого управління роботою сушарки СРЦ.

Продукт, який підлягає висушуванню, диспергується розпилювачем в сушильну камеру III. В калорифері II повітря нагрівається до заданої температури, з якого воно подається в сушильну камеру. Для контролю температури в сушильній камері встановлено датчик температури 5а. Висушений до заданої вологості продукт видаляється із нижнього вихідного патрубку. Відпрацьований сушильний агент, який в своєму складі містить дрібнодисперсні частинки сухого матеріалу, проходить через циклони IV та V. В циклонах відбувається очищення повітря від частинок висушеного продукту. Очищене відпрацьоване повітря виводиться із циклонів через витяжний вентилятор. Сухий порошок подається в бункер-накопичувач і далі на фасування.

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Слюсенко А.М.	Вид документа Пояснювальна записка		Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Бережинський М.В.	Назва, додаткова назва Принцип автоматизованого управління об'єктом проектування	22-2134.KP.07.005.ПЗ				
	Документ затверджено Якимчук М.В.		Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 1/3	

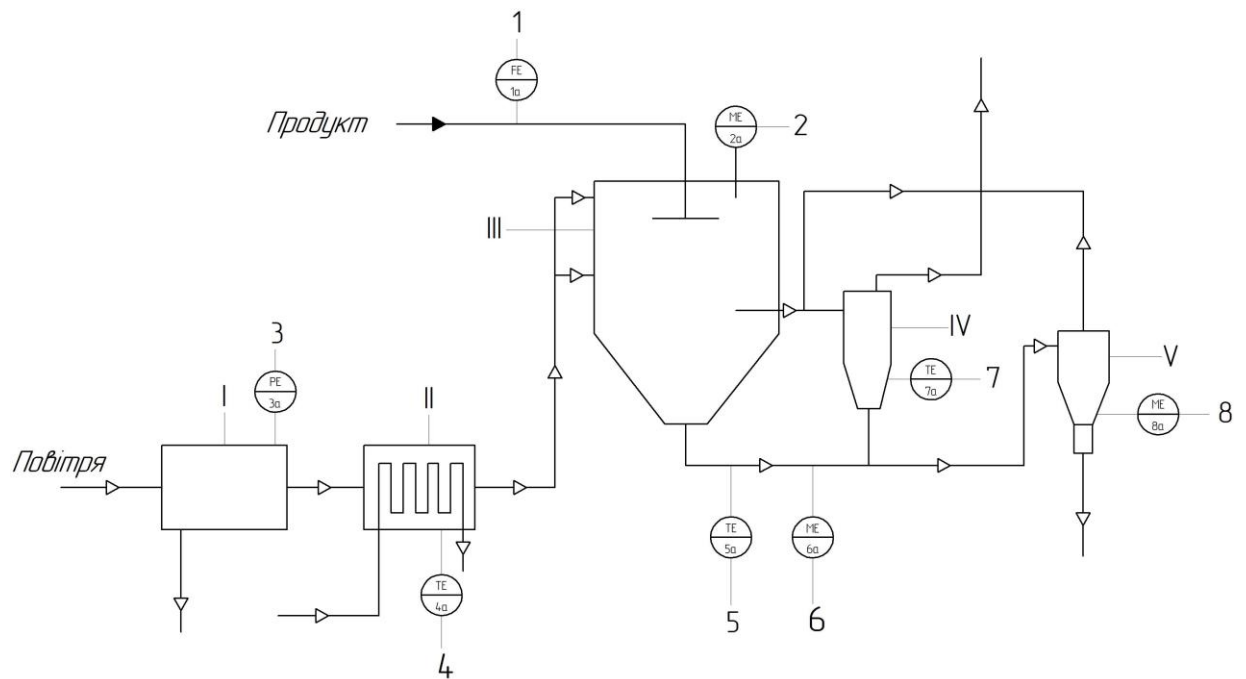


Рис. 5.1. Функціональна схема автоматизації:

I - осушувач повітря, II - калорифер, III -сушильна камера, IV - великий циклон, V - малий циклон

	1	2	3	4	5	6	7	8
На місці								
На щиті								

Рис. 5.2 Схема підключення приладів контролю та управління

Таблиця 5.1. Прилади для автоматизованого управління

№ позиції	Параметр	Місце встановлення	Найменування і характеристика	Тип, модель	Кількість
1а	Витратомір	На місці	Діафрагма камерна	ЕСУ-2М	1
1а	Витратомір	На щиті	Діафрагма камерна	ЕСУ-2М	1
1б, 2а, 6а, 7б, 8б	Вологість	На місці	Контроль масового відношення вологості, діапазон 0...11%, похибка 0,5, вихід. сигнал 0...10В, температура 0...40С.	ВПС-205	5
1б, 2а, 6а, 7б, 8б	Вологість	На щиті	Контроль масового відношення вологості, діапазон 0...11%, похибка 0,5, вихід. сигнал 0...10В, температура 0...40С.	ВПС-205	5
2б, 4а, 5а, 7а, 8а	Температура	На місці	Термометр опору(мідний), межі вимірювань 50–150°С, градуювання М50	ТСМ-5071	5
2б, 4а, 5а, 7а, 8а	Температура	На щиті	Термометр опору (мідний), межі вимірювань 50...150°С, градуювання М50	ТСМ-5071	5
3а, 4б	Тиск	На місці	Перетворювач тиску пневматичний	13ДИ13	2
3а, 4б	Тиск	На щиті	Перетворювач тиску пневматичний	13ДИ13	2

6. ЗАХОДИ З ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА ОХОРОНИ ДОВКІЛЛЯ

6.1 Заходи з охорони праці

Організована на підприємстві система управління охороною праці регулює взаємовідносини між структурними підрозділами організації, відносини між роботодавцем і найманими працівниками. Питання щодо охорони праці регулюються Законом України «Про охорону праці».

Законом України «Про охорону праці» передбачено, що роботодавці зобов'язані створювати належні умови праці на виробництві та забезпечувати додержання вимог законодавства щодо прав працівників у галузі охорони праці. При цьому роботодавець несе пряму відповідальність за порушення вимог охорони праці та техніки безпеки в організації.

Основні шкідливі виробничі фактори при роботі з сушаркою: висока температура, вологість, можливість ураження електричним струмом, недостатнє або занадто яскраве освітлення, шум, можливість отримання забоїв, вплив пилу та аерозолів.

До експлуатації розпилювальної сушарки допускаються особи віком від 18 років, які пройшли всю необхідну підготовку (стажування) і навчалися безпечній експлуатації даного обладнання.

Всі робітники повинні дотримуватися інструкцій і правил внутрішнього розпорядку підприємства та вимог безпеки на робочому місці. За невиконання вимог інструкцій працівники несуть відповідальність згідно з чинним законодавством.

Вимоги безпеки перед початком роботи. Перед початком роботи з сушаркою працівник повинен:

– пройти інструктаж від керівника та розписатися у відповідному журналі;

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Слюсенко А.М.	Вид документа Пояснювальна записка		Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Бережинський М.В.	Назва, додаткова назва Заходи з охорони праці та охорони довкілля		22-2134.KP.07.006.ПЗ			
	Документ затверджено Якимчук М.В.			Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 1/5

- вислухати вказівки керівника відповідно до специфіки дорученої роботи;

- одягнути спеціальний одяг;
- підготувати всі необхідні засоби індивідуального захисту;
- оглянути робочу зону;
- перевірити працездатність і справність обладнання;
- перевірити роботу аварійних вимикачів та звукових сигналізацій.

Вимоги безпеки під час роботи. При виконанні робочих обов’язків робітник, який працює з сушаркою, зобов’язаний:

- працювати за положеннями нормативних інструкцій;
- використовувати справні інструменти та обладнання;
- використовувати захисний одяг;
- дотримуватись правил електробезпеки;
- тримати своє робоче місце під наглядом і в чистоті;
- не допускати до робочого місця осіб, які не мають відношення до даної роботи.

- не виконувати ремонт та регулювання частин (вузлів) обладнання під час експлуатації.

У разі непередбачуваних обставин (втрата електроенергії, поломки обладнання, виявлення сторонніх запахів) оператори сушарки повинні:

- зупинити обладнання;
- повідомити слюсаря та майстра дільниці;
- зробити відповідний запис у журнал.

При виявленні пожежі:

- треба подзвонити в пожежну охорону та уточнити місце пожежі;
- повідомити керівника зміни;
- по можливості слід застосовувати засоби пожежогасіння.

Вимоги безпеки після закінчення роботи. По закінченню зміни працівник:

- зупиняє і вимикає обладнання;
- приводить в порядок робоче місце;
- прибирає робочі інструменти та захисний одяг.

6.2 Заходи з охорони довкілля

Охорона навколишнього природного середовища — це система заходів що забезпечують охорону і відновлення природних ресурсів у навколишньому середовищі, раціональне використання природних ресурсів, раціональну взаємодію людського суспільства і навколишнього середовища.

Охорона навколишнього середовища є багатогранною проблемою, для вирішення якої встановлюються та виконуються програми, накази та державні закони. Найважливішим з них є «Закон про охорону навколишнього природного середовища» від 19 квітня 1991 року, в якому прописані екологічні вимоги. Відповідно при розміщенні, проектуванні і будівництві споруд та підприємств необхідно враховувати їх негативний вплив на кожен елемент природного середовища (водойми, ґрунти, атмосферу). Це допоможе прогнозувати можливі зміни, відслідковувати «ланцюгову реакцію», що відбувається в природі внаслідок інженерно-господарської діяльності, прогнозувати небажані зміни, здійснювати різноманітні природоохоронні заходи.

З розвитком суспільства зростає використання природних ресурсів для задоволення його матеріальних потреб. Людина сьогодні надзвичайно активно впливає на природу. Забруднення навколишнього середовища вторинними продуктами промислової та технічної діяльності є очевидним, але небажаним наслідком виробничих процесів. Промислова діяльність викликає постійні зміни природи. Площа зелених насаджень в Україні значно скоротилася через наявність кислих ґрунтів і води, а також токсичних

промислових відходів, які забруднюють повітря, водойми та ґрунт. Це негативно впливає на здоров'я людей.

Головним завданням у найближчому майбутньому є запобігання збільшенню забруднення та виснаженню природних ресурсів.

Вирішення проблеми екологічної безпеки вимагає:

- технологічну модернізацію виробничих комплексів на основі впровадження новітніх досягнень науки, енерго- та ресурсозберігаючих технологій;
- безвідходних та екологічно чистих технологічних процесів;
- використання відновлюваних джерел енергії;
- створення ефективного екологічного контролю за діяльністю підприємств.

Розпилувальна сушарка, яка розглядається в кваліфікаційній роботі, належать до найбільш екологічно чистого обладнання в харчовій промисловості. Забруднення повітря є єдиним джерелом забруднення навколишнього середовища, викликаного роботою сушарки. Це джерело забруднення усувається шляхом проходження забрудненого повітря (відпрацьованого сушильного агенту) через рукавний фільтр перед викидом його в атмосферу. Всі джерела забрудненого повітря проходять двоступеневу систему фільтрів. Ступінь очищення повітря – 99,5%. Якщо перепад тиску в фільтрі перевищує встановлене для цього значення, його необхідно замінити.

Проектування технологічного обладнання виконується таким чином, щоб запобігти технологічним викидам в атмосферу та викидам загальної системи вентиляції. Вентиляційна система загального обміну повинна бути оснащена високоефективним фільтром для очищення повітря.

В процесі виробництва можливий викид технологічних газів у атмосферу з системи місцевих відсмоктувань і в меншій мірі з системи загальної вентиляції. Для очищення повітря від технологічного пилу системи місцевої вентиляції та системи загальнообмінної вентиляції обладнані

пристроєм для очищення повітря. Компоненти цього пристрою включають набір фільтрів, підібраних для пропуску повітря з відповідним вмістом сторонніх речовин. Фільтр з системою контролю тиску - це прилад, який показує стан засмічення фільтра та має індикатор сигналізації для його заміни.

7. МАРКЕТИНГОВЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ

Для отримання сухої продукції з розчинів або суспензій використовують розпилювальні сушильні установки, що виготовляються як в Україні так і за її межами. Розпилювальні сушарки використовуються в різних промислових галузях, зокрема, у фармацевтичній, біотехнологічній, хімічній, харчовій.

Нижче наведені зображення сушарок, що використовуються для сушіння різних продуктів, та їх виробники.

Компанія ТОВ «Чумаки у Китаї». Дана компанія займається виробництвом розпилювальної сушарки RS-100 (рис. 7.1)



Рис 7.1. Розпилювальна сушка RS-100

В такій сушарці розчин, емульсія, суспензійна рідина або суспензія розпилюються на дрібні краплі в гарячому повітрі. Опускаючись від верхньої

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Слюсенко А.М.	Вид документа Пояснювальна записка		Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Бережинський М.В.	Назва, додаткова назва Маркетингове обґрунтування проекту		22-2134.KP.07.007.ПЗ			
	Документ затверджено Якимчук М.В.			Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 1/4

частини сушильної камери до нижньої відбувається сушіння вологого матеріалу. Сушарка дозволяє отримати сухий матеріал у вигляді порошку або гранул. Після сушіння продукт вивантажується з дна сушильної вежі або з циклону (залежно від конфігурації).

Компанія «GRIFFIN MACHINERY» виробляє багато різних сушарок. Розглянемо декілька варіантів сушарок цієї компанії: розпилювальну сушарку під тиском YPG-25 (рис. 7.2) та розпилювальну сушарку із замкненим циклом XLPG-50 (рис. 7.3)



Рис. 7.2. Розпилювальна сушарка під тиском YPG-25

В сушарці YPG-25 система сушіння розпиленням під тиском складається з системи подачі, системи циркуляції середовища, системи очищення повітряного нагрівання, системи сушильної башти, централізованої системи прийому гарячого повітря, системи управління та інших допоміжних систем.

Зазвичай ця сушарка використовується для сушіння кави, молока, прального порошку тощо.



Рис. 7.3. Розпилювальна сушарка із замкненим циклом XLPG-50

Розпилювальна сушарка із замкненим циклом XLPG-50 виготовлена з нержавіючої сталі 304. Внутрішній діаметр сушильної башти становить 1,6 м, загальна висота – 6,5 м. Нормальна робоча температура 180 °С, екстремальна робоча температура 250 °С. Робочий тиск башти 2000-5000Па, межа тиску башти 20000Па, при понад 26000 Па вибухозахисна мембрана автоматично розірветься. Граничний негативний тиск -12000Па.

Компанія «SANOVO TECHNOLOGY NETHERLANDS». Дана компанія займається виробництвом сушарок SANOVO (рис. 7.4) у Європі.

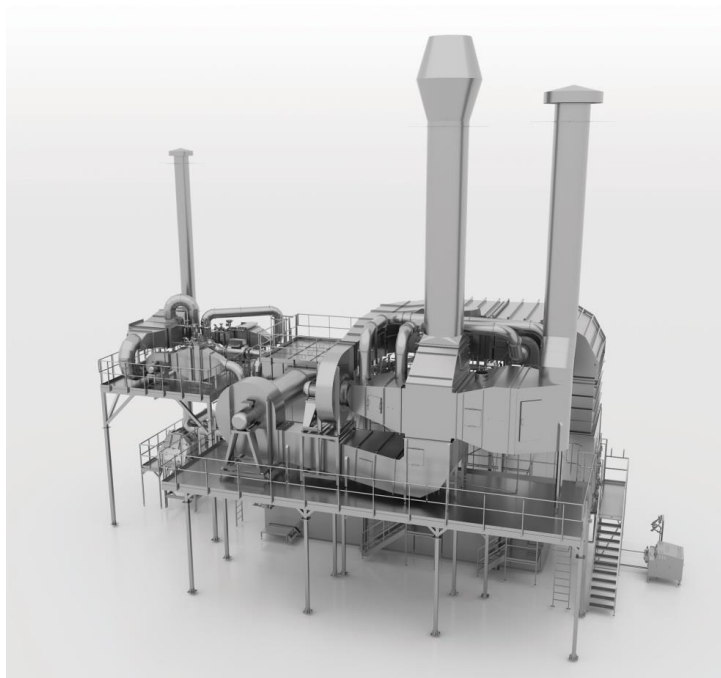


Рис. 7.4. Горизонтальна розпилювальна сушарка SANOVO

Цей тип розпилювальної сушарки має деякі унікальні переваги в порівнянні з вертикальними розпилювальними сушарками. На відміну від величезних вертикальних розпилювальних сушильних веж, горизонтальні розпилювальні сушарки не вимагають для розміщення високих будівель. У більшості випадків горизонтальна розпилювальна сушильна установка поміститься у вже існуючій будівлі, що значно знизить вартість монтажу. Крім того, компанія SANOVO TECHNOLOGY PROCESS використовує форсунки, які споживають менше енергії, ніж роторні розпилювачі.

Оглянувши розпилювальні сушарки різних компаній встановлено, що у них всіх є основний недолік - це налипання вологого продукту на стінки. Тому, комбінований спосіб підведення сушильного агенту, який описаний в даній кваліфікаційній роботі, є доцільним для впровадження, покращення роботи розпилювальних сушарок.

ВИСНОВКИ

Проведено аналіз конструкцій і роботи розпилювальних сушарок. Встановлено, що при роботі розпилювальної сушарки відбувається налипання вологого продукту на її внутрішні стінки, що призводить до зниження її продуктивності та якості готового продукту.

Для усунення даного недоліку, і тим самим інтенсифікації процесу сушіння, запропоновано виконати додаткове підведення сушильного агенту в зону налипання вологого матеріалу на стінку.

Проведено моделювання (із застосуванням САЕ-системи інженерного аналізу ANSYS CFX) гідродинаміки потоків (рідини, газу та їх суміші) в розпилювальній сушарці. На основі результатів проведених досліджень рекомендується виконати комбіноване підведення сушильного агенту – через патрубків круглого перерізу у верхній частині сушарки та чотири патрубків (канали) прямокутного перерізу під ним.

Представлено вдосконалену конструкцію розпилювальної сушарки СРЦ, яка була прийнята за прототип, у якій підведення сушильного агенту є комбінованим за рахунок чого і знижується імовірність налипання вологого матеріалу на її стінки. Таке технічне рішення приводить до інтенсифікації процесу сушіння, підвищення ефективності роботи сушарки.

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Слюсенко А.М.	Вид документа Пояснювальна записка		Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Бережинський М.В.	Назва, додаткова назва Висновки	22-2134.KP.07.000.ПЗ				
	Документ затверджено Якимчук М.В.		Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 1/1	

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Методичні рекомендації до виконання випускової кваліфікаційної роботи на здобуття освітнього ступеня «Магістр» за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування» освітньо-професійної програми «Інжиніринг харчових виробництв» денної та заочної форм навчання / В. Г. Мирончук та ін. ; НУХТ. Київ., 2022. 51 с
2. Шморгун В. В. Энергоеффективность распылительных сушилок, пути их модернизации. *Пром. теплотехника*. 2007. т. 29 (7). С. 185-189.
3. Розрахунки обладнання підприємств переробної і харчової промисловості : навч. посіб. / В. Г. Мирончук та ін. ; Нова книга. Вінниця, 2004. 288 с.
4. Шутюк В. В. Научно-методологические основы ресурсосбережения энерготехнологических комплексов сушения пищевых продуктов : диссертация. Київ, 2016. 349 с.
5. Обладнання підприємств переробної і харчової промисловості / І. С. Гулий та ін. ; Нова книга. Вінниця, 2001. 576 с.
6. Справочник механика пищевой промышленности / А. И. Соколенко и др. ; Арт Эк. Київ, 2004. 304 с.
7. Сучасні технології сушіння та випалювання матеріалів : конспект лекцій / А. П. Рижов та ін. ; ДДТУ. Кам'янське, 2016. 75с.
8. Процеси і апарати харчових виробництв / О. С. Марценюк та ін. ; НУХТ. Київ, 2011. 407 с.
9. Геврик Є. О. Охорона праці. Київ : Ельга. Ніка-Центр, 2003. 280 с.
10. Долинский А. А., Малецкая К. Д. Распылительная сушка : в 2-х томах. Т. 1 Теплофизические основы. Методы интенсификации и энергосбережения. Киев : Академперіодика, 2011. 376 с.

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Слюсенко А.М.	Вид документа Пояснювальна записка		Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Бережинський М.В.	Назва, додаткова назва Список використаних джерел	22-2134.KP.07.000.ПЗ				
	Документ затверджено Якимчук М.В.		Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 1/2	

11. Основи розрахунку та конструювання обладнання переробних і харчових виробництв : підручник / К. О. Самойчук та ін. ; Проф. книга. Київ, 2020. 428 с.

12. Автоматизація виробничих процесів. Дифузійні процеси (обладнання для сушіння) : навчально-методичний посібник / В. В. Тичков та ін. ; ЧДТУ. Черкаси, 2018. 179 с.

13. Harvie D. J. E., Langrish T. A. G., Fletcher D. F. Numerical simulations of gas flow patterns within a tall-form spray dryer. *Chem. Eng. Res. Des.* 2001. 79 (3). P. 235–248.

14. Langrish T., Fletcher D. Prospects for the modelling and design of spray dryers in the 21st century. *Drying Technol.* 2003. 21 (2). P. 197–215.

15. Comparative study of droplet drying models for CFD modelling / M. W. Woo et al. *Chem. Eng. Res. Des.* 2008. 86 (9). P. 1038–1048.

16. Guo B., Langrish T., Fletcher D. Simulation of gas flow instability in a spray dryer. *Chem. Eng. Res. Des.* 2003. 81 (6). P. 631–638.