

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет інженерії машин, споруд та технологій
(повна назва факультету)

Кафедра обладнання харчових технологій
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Модернізація сушильного барабану сушарки СБ-1,4

Виконав(ла): студент(ка) VI курсу, групи МОм-61
спеціальності 133 Галузеве машинобудування
(шифр і назва спеціальності)

Чорний П. М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник Зварич Н.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль Ворощук В.Я
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри Вітенько Т.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент
(підпис) (прізвище та ініціали)

Тернопіль
2023

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет інженерії машин, споруд та технологій

(повна назва факультету)

Кафедра обладнання харчових технологій

(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри обладнання харчових технологій

_____ д.т.н., проф. Вітенько Т.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

«_____»

2023 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(Назва освітнього ступеня)

за спеціальністю

133 Галузеве машинобудування

(шифр і назва спеціальності)

студенту

Чорному Павлу Михайловичу

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

1. Тема роботи

Модернізація сушильного барабану сушарки СБ-1,4

Керівник роботи

Зварич Наталя Миколаївна

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

Затверджені наказом по університету від 16.11.2023 року № 4/7-1062

2. Термін подання студентом завершеної роботи 20 грудня 2023р.

3. Вихідні дані до роботи Паспорт барабанної сушарки СБ-1,4

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ. 1. Аналіз сучасного стану об'єкту дослідження, вибір і обґрунтування основних напрямків дослідження. 2. Методи та методика досліджень. 3. Проектно-технологічні й технічні рішення по конструкції барабанної сушарки СБ-1,4 4. Дослідження впливу конструктивних параметрів сегменту підйомно-лопатевої насадки в барабанній сушарці. 5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Висновки. Перелік посилань.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів) Барабанна сушарка. Вигляд загальний 1Ф.А1. Барабан сушарки. Складальне креслення. 1Ф.А1. Станція опорно-упорна. Складальне креслення. 1Ф.А1. Камера завантаження. Складальне креслення. 1Ф.А1. Плакати (слайди): Дослідження впливу конструктивних параметрів сегменту підйомно-лопатевої насадки в барабанній сушарці 3Ф.А1, аналіз отриманих результатів 1Ф.А1.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Кравець О.І., доц. каф ОХ, Стручок В.С., стар. викл. каф. ОХ		
Нормоконтроль	Ворошук В.А, доц. каф.ОХ		

7. Дата видачі завдання 16.11.2023

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
	<i>Вступ.</i>	20.11.2023	
1.	<i>Аналіз сучасного стану об'єкту дослідження, вибір і обґрунтування основних напрямків дослідження.</i>		
2.	<i>Методи та методика досліджень.</i>	25.11.2023	
3.	<i>Проектно-технологічні й технічні рішення по конструкції барабанної сушарки СБ-1,4.</i>	30.11.2023	
4.	<i>Дослідження впливу конструктивних параметрів сегменту підйомно-лопатевої насадки в барабанній сушарці</i>	04.12.2023	
5.	<i>Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.</i>	10.12.2023	
	<i>Висновки. Перелік посилань</i>	15.12.2023	
	Графічна частина		
1.	<i>Барабанна сушарка. Вигляд загальний 1Ф.А1.</i>	22.11.2023	
	<i>Барабан сушарки. Складальне креслення. 1Ф.А1.</i>	27.11.2023	
2.	<i>Станція опорно-упорна. Складальне креслення. 1Ф.А1.</i>	03.12.2023	
	<i>Камера завантаження. Складальне креслення. 1Ф.А1.</i>	15.12.2023	
4.	<i>Плакати (слайди) 4Ф.А1:</i>	15.12.2023	
	<i>Дослідження впливу конструктивних параметрів сегменту підйомно-лопатевої насадки в барабанній сушарці</i>		
	<i>Аналіз отриманих результатів</i>		

Студент

(підпис)

Чорний П.М.

(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

(підпис)

Зварич Н.М.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Чорний П. М. Модернізація сушильного барабану сушарки СБ-1,4. 133 «Галузеве машинобудування». - Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. - Тернопіль, 2023

В кваліфікаційній роботі проведено дослідження впливу конструктивних параметрів сегменту підйомно-лопатевої насадки в барабанній сушарці СБ-1,4 та запропоновано заходи з модернізації.

Ключові слова: барабана сушарка, процес сушіння, обробка зерна пшениці.

Chorny P. M. Modernization of the drying drum in the dryer SB-1.4. 133 “Industrial Machinery Engineering” – Ternopil Ivan Puluj National Technical University. - Ternopil, 2023.

The impact of construction parameters of the segmented flight of the drying drum in the dryer SB-1.4 was researched in the thesis. Modernization measures for the the dryer SB-1.4 are suggested.

Keywords: drum dryer, drying process, wheat grain processing.

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ	4
ЗМІСТ	5
ВСТУП	7
1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ОБ'ЄКТУ ДОСЛІДЖЕННЯ, ВИБІР І ОБҐРУНТУВАННЯ ОСНОВНИХ НАПРЯМКІВ ДОСЛІДЖЕННЯ	9
1.1. Особливості сушіння зернової сировини	9
1.2. Аналіз сучасного технологічного обладнання для сушіння харчової продукції	11
1.3. Аналіз будови і принципу роботи барабанної сушарки	17
1.4. Мета і завдання кваліфікаційної роботи.....	20
2. МЕТОДИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ	21
2.1. Обґрунтування вибору методів і засобів досліджень.....	21
2.2. Алгоритм і методики проведення математичного моделювання	23
3. ПРОЕКТНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ Й ТЕХНІЧНІ РІШЕННЯ ПО КОНСТРУКЦІЇ БАРАБАННОЇ СУШАРКИ СБ-1,4.....	24
3.1. Технологічний розрахунок сушарки СБ-1,4.....	24
3.2. Структурний аналіз барабанної сушарки СБ-1,4.....	26
3.3. Кінематичний аналіз барабанної сушарки	27
3.4. Конструктивні розрахунки.....	30
3.4.1 Розрахунок корпусу сушарки	31
3.4.2 Розрахунок бандажа та опорного ролика	38
3.4.4 Розрахунок вісі опорного ролика	42
4. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ СЕГМЕНТУ ПІДЙОМНО-ЛОПАТЕВОЇ НАСАДКИ В БАРАБАННІЙ СУШАРЦІ	48
4.1. Аналіз конструкції барабану сушарки з підйомно-лопатевою насадкою	48
4.2. Геометрична модель барабана сушарки	50

4.2.1. Об'єм матеріалу на дні барабана.....	50
4.2.2. Обсяг матеріалу в сегментних лопатях.....	52
4.2.3. Максимальний кут розвантаження лопаті δ_{max}	56
4.2.4. Висота падіння матеріалу.....	57
4. 2.5. Максимальна кількість лопатей.....	58
4. 3. Аналіз отриманих результатів	60
4.3.1. Аналіз впливу конструктивних параметрів лопаті та коефіцієнту заповнення барабану на ступінь заповнення лопаті.....	60
4.3.2. Аналіз залежності висоти безрозмірної висоти падіння від кута розвантаження	63
4.3.3 Аналіз встановлених залежностей для кількості лопатей	64
4.3.4. Аналіз впливу співвідношення розмірів барабана і лопаті	66
4.3.5. Узагальнення результатів.....	67
5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	68
5.1. Охорона праці.....	68
5.2. Безпека у надзвичайних ситуаціях	73
ВИСНОВКИ.....	82
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	83
ДОДАТКИ	
СПЕЦІФІКАЦІЇ	

ВСТУП

Кліматичні зміни, що відбуваються у всьому світі не оминули і Україну. Щорічне підвищення температури призвело до того, що змінилися райони вирощування сільськогосподарських культур, наприклад зона вирощування цукрових буряків змістилася на північ більше ніж на 200 км. Що стосується Заходу України, то останніми роками тут активно вирощують соняшник, ріпак, сою, стали більше вирощувати зернових. Ці культури під час збирання мають вологість 18 - 20 %, а при несприятливих погодних умовах, вологість може досягати 22 % [1]. Якщо зерно залишити в такому стані, воно швидко втрачає свою якість за рахунок розвитку хвороб, проростання, втрати сухої речовини внаслідок дихання.

Критичні значення вологості для пшениці, жита і ячменю становлять 14,5 - 15,5%, для кукурудзи - 13 - 14%, проса - 12 - 13%, соняшнику - 7 - 9%. Згідно технічним умовам ДСТУ 3768:2010 вологість зерна пшениці не повинна перевищувати 14%. Показник вологості є однаковим для всіх класів пшениці, незалежно продовольча вона або фуражна [2].

Для приведення зерна й насіння до стійкого стану і уникнути ураження мікроорганізмами, зберігати його потрібно при вологості нижче за критичну на 3 - 4%, а для олійних культур - на 2 - 3%.

Для зниження вологості широко використовуються сушарки різних видів. Особливістю сушильне обладнання є його висока енергоємність, а при використанні для обробки харчової сировини додаються питання збереження якісних характеристик продукту, простоти очищення і за необхідності миття обладнання.

Мета роботи: проведення теоретичного дослідження впливу конструктивних параметрів сегменту підйомно-лопатевої насадки в барабанній сушарці на процес сушіння зерна пшениці та розроблення рекомендацій щодо покращення конструкції барабану сушарки.

Об'єкт дослідження: сушильний барабан сушарки СБ-1,4.

Предмет дослідження: вплив конструктивних параметрів сегменту підйомно-лопатевої насадки в барабанній сушарці на процес сушіння зерна пшениці.

Методи дослідження: в роботі застосовані традиційні методи досліджень, а саме аналіз, синтез, аналогія, ідеалізація, порівняння, використано методи геометричного та математичного моделювання.

Наукова новизна: встановлено вплив конструктивних параметрів сегменту підйомно-лопатевої насадки в барабанній сушарці на процес сушіння зерна пшениці та запропоновано оптимальну кількість лопатей та їх геометричні параметри для покращення ефективності сушіння.

Практична цінність: отримані результати можна використати при аналізі роботи і конструкції обладнання з обертовими барабанами. Запропоноване удосконалення конструкції сушильного барабану дозволить підвищити якість сушіння зерна пшениці.

Апробація результатів. Основні положення магістерської роботи доповідались на XII Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», (Тернопіль 6-7 грудня 2023 року).

Структура і обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається зі вступу, 5 розділів, висновків, переліку посилань, додатків. Роботу викладено на __ сторінках друкованого тексту, вона містить __ рисунків, __ сторінок додатків.

1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ОБ'ЄКТУ ДОСЛІДЖЕННЯ, ВИБІР І ОБҐРУНТУВАННЯ ОСНОВНИХ НАПРЯМКІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1. Особливості сушіння зернової сировини

Процеси сушіння широко застосовуються в промисловості і сільському господарстві. Об'єктами сушіння можуть бути сировина, напівфабрикати, готові вироби різних стадіях їх обробки.

Сушіння є основною технологічною операцією з приведення зерна й насіння різних культур до стійкого стану. Лише після того, як із свіжозібраної зернової маси видалено всю надлишкову вологу і зерно доведено до сухого стану, воно буде надійно зберігатись.

Зерно має капілярно-пористу структуру. Плодові оболонки насіння є проникними для пари води, оскільки пронизані капілярами. Насінні оболонки й алейроновий шар відносно малопроникні для пари води і за неправильного режиму сушіння можуть бути причиною здуття зерна, через сповільнення виведення вологи з середини ендосперму. У зародку зернових культур містяться чутливі до температурного режиму водорозчинні білки — альбуміни, які при температурі вище 41 — 42 °С денатурують і насіння втрачає схожість. Білки клейковини більш термостійкі, однак температура її нагрівання також обмежена.

Під час сушіння необхідно забезпечити збереження усіх властивостей речовин у зернівці, що досягається чітким дотриманням встановлених технологічних параметрів та рекомендованих режимів сушіння для кожної культури.

Існують різні способи сушіння, серед яких найпоширеніше теплове. Процес сушіння зернової сировини базується здатності зерна випаровувати поверхнею вологу за умови, що тиск водяної пари в зернівці вищий за її тиск в зовнішньому повітрі.

Під час сушіння зернових культур слід звернути увагу на таке:

1) чим більша початкова вологість зерна, тим вища швидкість сушіння в початковий період і тим він коротший. Механічно зв'язана волога завжди видаляється в першу чергу. Капілярно зв'язана волога має міцний зв'язок з крохмальними зернами і з білками. Тому лімітуючою стадією процесу сушіння зернівок є видалення надлишкової вологи з білкового комплексу;

2) під час сушіння зернівки нагріваються швидше, ніж випаровується волога, що передбачає доцільність використання рециркуляційного (з відлежуванням) режиму обробки;

3) сушіння відбувається лише за умови вищого тиску пари всередині зернівки ніж в навколишньому середовищі. Коли температура поверхні зернівки зрівнюється з навколишньою температурою процес сушіння припиняється;

4) в зернівці одночасно відбувається як переміщення вологи так і рух розчинених в ній мінеральних речовин, тому підвищується зольність периферійної частини зернівки і зародка;

5) швидкість процесу сушіння залежить від вологості повітря: 1 м³ повітря з температурою 20 °С поглинає 17 г води, 30 °С — 31 г, 50 °С — 90 г, 70 °С — 200 - 250 г, 90 °С — 400 г і більше.

1.2. Аналіз сучасного технологічного обладнання для сушіння харчової продукції

Процес теплового сушіння харчових продуктів полягає у переводі вологи, що міститься в них, в пароподібний стан і подальше її видалення у виді пари в зовнішнє середовище.

За способом підведення теплоти до продукту розрізняють сушарки конвективні, контактні (сушіння на гарячих поверхнях), з променистим нагрівом, з нагріванням струмами високої частоти, акустичні.

Найбільше застосування мають конвективні сушильні установки, в яких сушильним агентом є нагріте повітря або суміш його з топковим газами. Продукти, що використовуються для харчування людини, висушуються повітрям. Конвективні сушарки періодичної й безперервної дії широко застосовуються у великотоннажних виробництвах.

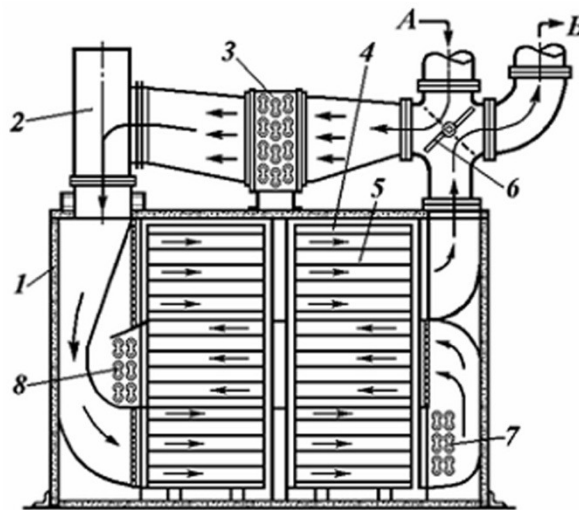


Рисунок 1.1 - Камерна сушарка:

1 - корпус сушарки; 2 - вентилятор; 3, 7, 8 - калорифери; 4 - вагонетки; 5 - полиці з вологим матеріалом; 6 - шибер; потоки: А - повітря свіже; Б - повітря відпрацьоване

Вологий матеріал під час сушіння примусово обдувається потоком гарячих газів (повітря, димових або інертних), які можуть бути як теплоносієм так і транспортним засобом для відведення вологи.

Камерні сушарки (рис. 1.1) із частковою рециркуляцією й проміжним підігріванням повітря зазвичай використовують для сушіння дисперсних матеріалів у малотоннажних виробництвах. Сушарка має вид прямокутної теплоізолюваної камери, розділеної на секції з додатковими джерелами тепла - калориферами. Дана сушарка забезпечує часткову рециркуляцією відпрацьованого повітря й дворазовий його підігрів, і як наслідок м'якші умови сушіння.

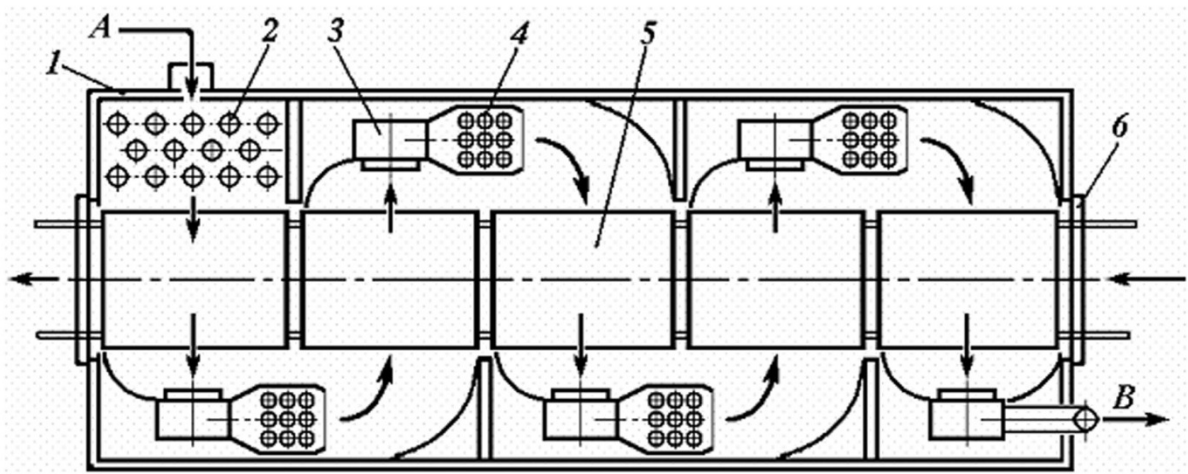


Рисунок 1.2 а - Тунельна багатозональна сушарка (вид зверху):
 1 - корпус; 2 - калорифер; 3 - вентилятор; 4 - калорифер додатковий 5 - вагонетка; 6 - двері розсувні; Потоки: А - повітря свіже; Б - повітря відпрацьоване

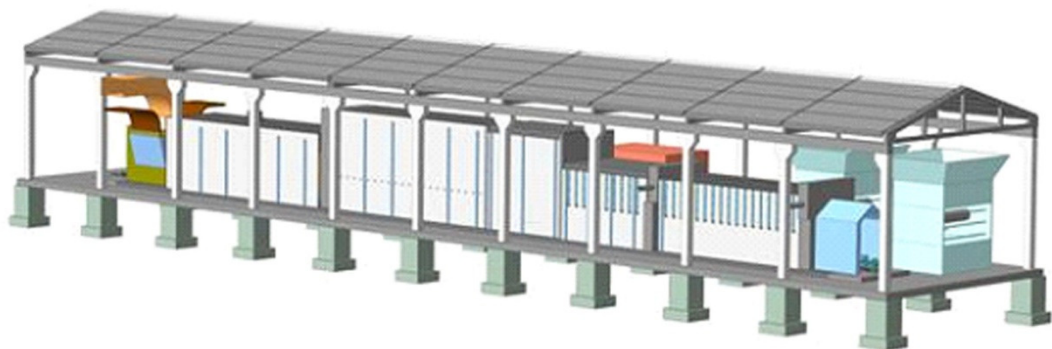


Рисунок 1.2 б - Тунельна багато-зональна сушарка (вид збоку).

Недоліками є підвищена трудомісткість операцій завантаження й вивантаження та порівняно низька інтенсивність сушіння.

У тунельній сушарці напівбезперервної дії (рис. 1.2 а, б) висушуваний матеріал у візках повільно переміщується зонами сушильної камери – тунелю. У сушарці відбувається часткова рециркуляція відпрацьованого повітря з дворазовим його підігріванням для забезпечення м'яких режимів сушіння. Відрізняються такі сушарки трудомісткістю завантаження й вивантаження сировини та низькою інтенсивністю сушіння.

Стрічкові сушарки (рис. 1.3) мають широке застосування для сушіння великошматкових, волокнистих і пастоподібних матеріалів. Висушуваний матеріал рівномірним шаром (до 50 мм) розміщують на стрічковому транспортері, що повільно рухається від завантажувального пристрою до розвантажувального бункера через корпус сушарки.

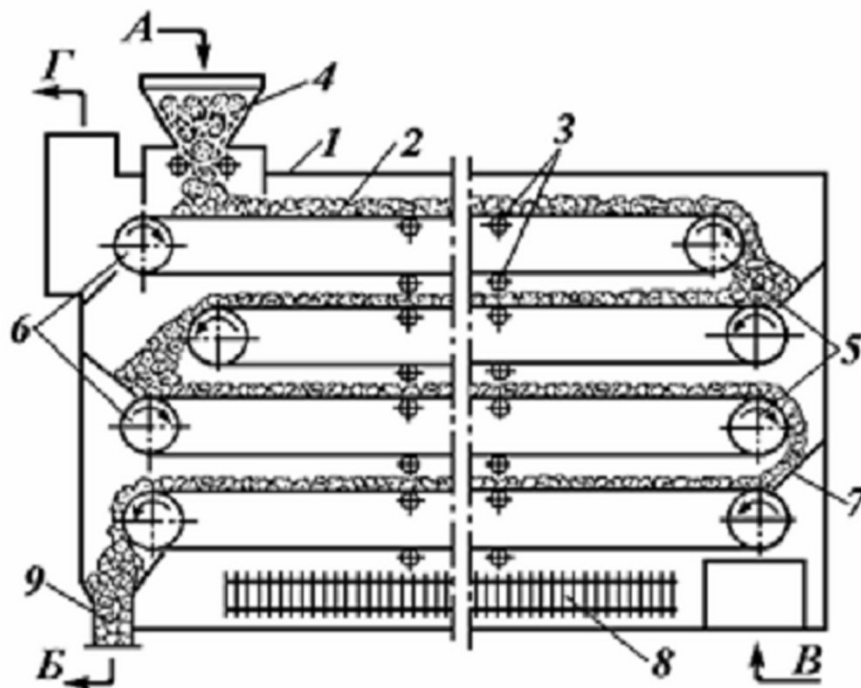


Рисунок 1.3 - Багострічкова сушарка:

- 1 - корпус сушарки; 2 - нескінченна стрічка - транспортер; 3 - опорні ролики;
 4 - бункер завантажувальний; 5 - барабан ведучий; 6 - барабан ведений; 7 -
 стінка розділова; 8 - парові калорифери; 9 - бункер вивантажувальний;
 Потіки: А - вологий матеріал; Б - висушений матеріал; В - повітря свіже; Г -
 повітря відпрацьоване

У багатоярусних сушарках транспортерні стрічки розташовуються одна над іншою і переміщуються в протилежних напрямках. Під час пересипання матеріалу з однієї стрічки на іншу відбувається додаткове його розпушення і перемішування, що сприяє інтенсифікації процесу сушіння.

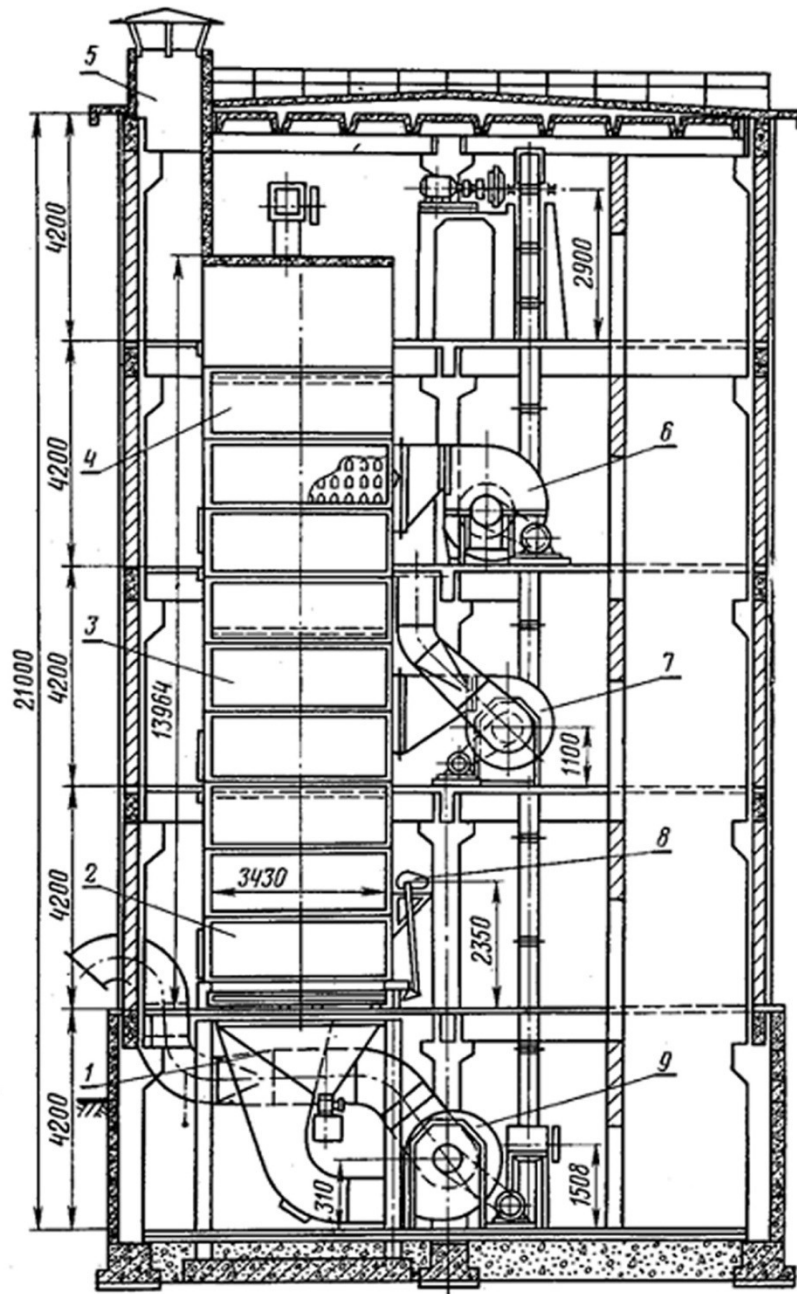


Рисунок – 1.4. -Загальний вид зерносушарки ДСП-32

- 1 – підсушительний бункер; 2 – зона охолодження; 3 – друга зона сушіння; 4 – перша зона сушіння; 5 – відведення відпрацьованого агента сушіння; 6 – вентилятор першої зони сушіння; 7 – вентилятор другої зони сушіння; 8 – редуктор; 9 – вентилятор зони охолодження

Шахтні сушарки (рис. 1.4.) використовують для сушіння сипких зернистих або гранульованих матеріалів. Вони мають вигляд вертикальних камер (шахт) висотою 20 - 60 м, у яких висушуваний матеріал пересипається з полиці на полицю або рухається у насадці суцільним шаром зверху вниз назустріч потоку сушильного агента. Звичайно в сушарках такого типу висушують матеріали, що містять переважно поверхневу механічно зв'язану вологу.

Сушарки киплячого шару (СКШ) (рис. 1.5.) набули популярності завдяки високій інтенсивності процесу (на порядок вища, ніж у сушарках інших типів) і можливості сушіння матеріалів з різними властивостями: дисперсні матеріали з розміром часток 0,2 - 10 мм, пасти, суспензії, розчини та розплави.

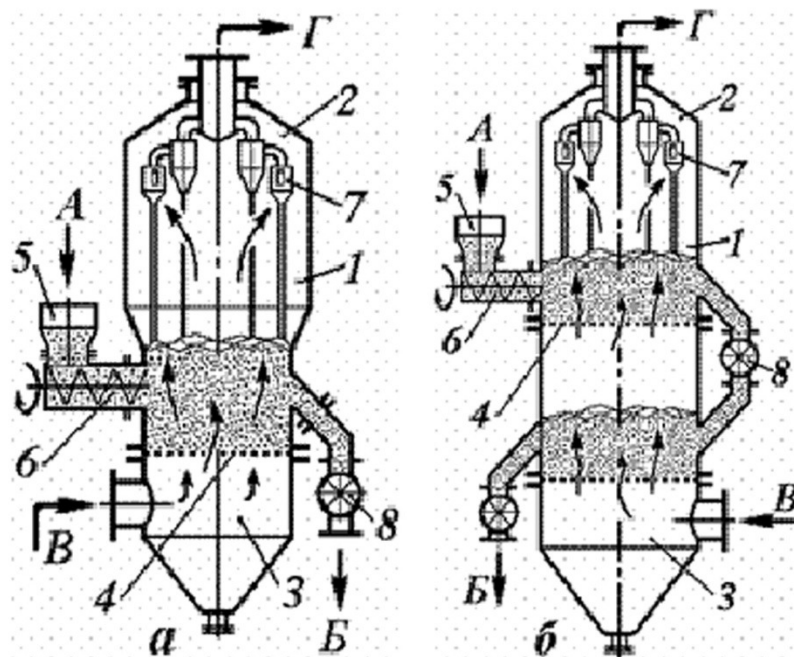


Рисунок 1.5. Циліндричні сушарки з киплячим шаром (СКШ):

- а – однозонна циліндроконічна; б - двозонна циліндрична; 1 - корпус; 2 - кришка; 3 - камера газорозподільна; 4 - решітка газорозподільна; 5 - бункер; 6 - живильник; 7 - система пилоуловлювальна; 8 - дозатор секторний;
- Потоки: А - вологий матеріал; Б - продукт; В - гази нагріті; Г - гази відпрацьовані

Робота СКШ базується на принципі протитечійної взаємодії дисперсної твердої фази з висхідним потоком нагрітого теплоносія. У результаті чого розділені між собою прошарком газу окремі частинки, швидко нагріваються і відбувається інтенсивне випаровування як поверхневої, так і внутрішньої вологи. Крім того в них можна одночасно проводити декілька складних процесів, таких як сушіння + гранулювання та капсулювання або сушіння + одержання багат шарового складного продукту.

Вібросушарки (рис. 1.6) дозволяють знизити витрати сушильного агента при одночасному збереженні якостей псевдозрідженого шару.

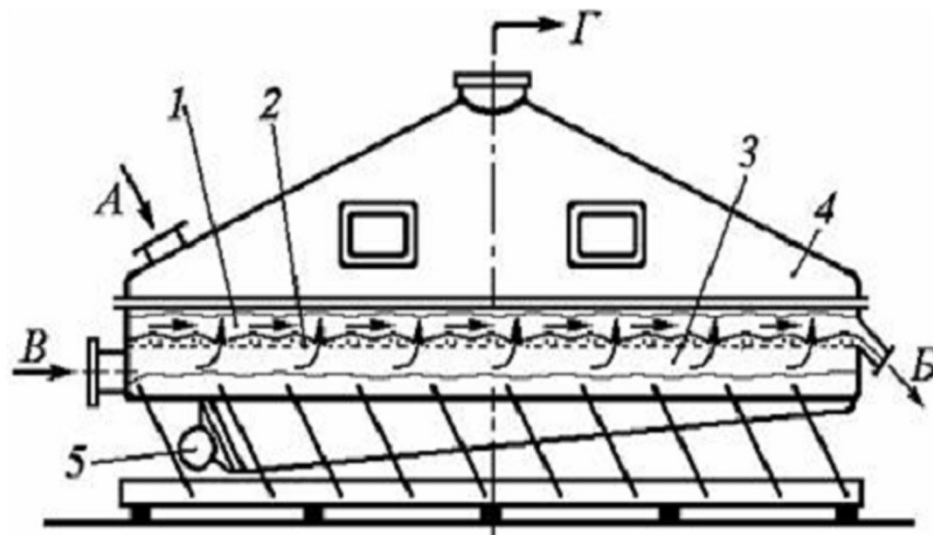


Рисунок 1.6. Вібросушарка з киплячим шаром матеріалу:

- 1 - корпус сушильної камери; 2 - решітка; 3 - газорозподільна камера; 4 - кришка; 5 - вібропривід; А - вологий матеріал; Б - продукт; В - повітря нагріте; Г - повітря відпрацьоване.

Вібрації піддають підтримуючу шар решітку або корпус сушарки в цілому. Теплоносій подають під газорозподільну решітку для переведення дисперсного матеріалу у псевдозріджений стан з невеликою порізністю ($0,48 < \varepsilon < 0,52$).

1.3. Аналіз будови і принципу роботи барабанної сушарки

Барабанні сушарки (рис. 1.7.) набули широкого поширення оскільки відрізняються універсальності використання, надійністю в роботі, простотою конструкції та досить високою ефективністю.

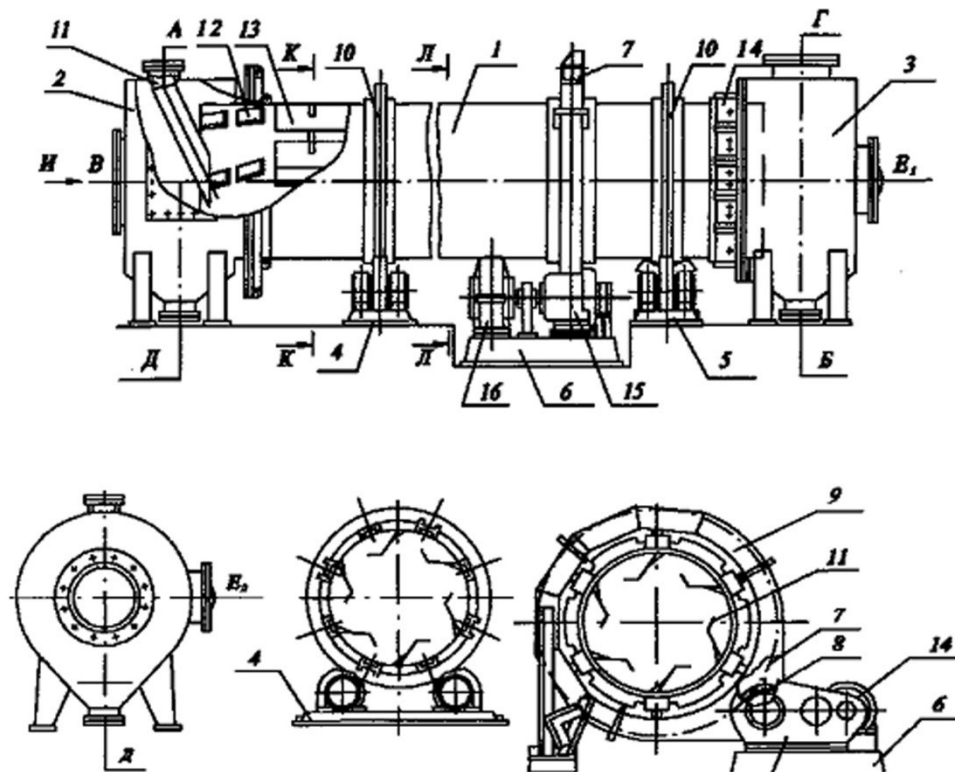


Рисунок 1. 7. - Барабанна сушарка

1-корпус; 2-завантажувальна камера; 3-розвантажувальна камера; 4-опорна станція; 5-опорно-упорная станція; 6-приводна станція; 7-венцовая шестерня; 8-підвенцовая шестерня; 9-захистне огородження; 10-бандаж; 11-течка; 12-розподільна насадка; 13-подъемно-лопатева насадка; 14- ущільнення; 15-електродвигун; 16-редуктор

Сушарка має вигляд циліндричного барабану, який залежно від моделі може бути діаметром від 0,4 до 3,8 м і мати довжину від 3 до 27 м. Співвідношення між довжиною і діаметром становить від 4 до 8. До барабану кріпляться бандажі, якими він опираються на циліндричні ролики опорної й

упорно-опорної станцій. На барабан також надіта зубчаста вінцева шестерня, за допомогою якої він отримує обертальний рух від електродвигуна через редуктор. Барабан може обертатися з частотою від 0,5 об/хв до 5 об/хв. Барабан встановлений з кутом нахилу до горизонту $1,5 - 3^\circ$ вбік розвантаження висушеного матеріалу. З протилежних кінців барабана змонтовані відповідно завантажувальна й розвантажувальна камери зі спеціальними ущільненнями, що запобігають підсмоктуванню холодного атмосферного повітря.

Вологий матеріал поступає в сушарку через завантажувальну камеру 3 одночасно з подачею гарячого теплоносія, а через розвантажувальну камеру 14 вивантажується висушений готовий продукт та відводиться відпрацьований теплоносій.

Внутрішній об'єм барабана заповнюють насадками різної форми (гвинтовою, лопатевою, підйомно-лопатевою, секторною та ін.), вибір їхнього типу залежить від властивостей продукту, що висушується. Зі сторони завантажувальної камери на довжині 800мм розміщують розподільчу насадку 12 у вигляді шести гвинтових лопатей. Після неї по всій довжині барабана розташовують основну насадку 13. Вид і форма основної насадки відповідає властивостям висушуваного матеріалу. В якості основної насадки для сушіння харчової сировини застосовують підйомно-лопатеву насадку.

Під час обертання барабана за допомогою лопатей насадки матеріал піднімається на певну висоту й потім зсипається вниз у потік нагрітого газу, де відбувається його конвективне сушіння. Степінь заповнення барабана висушуваним матеріалом становить 10 - 25 %. Швидкість руху теплоносія становить 1,0 - 4 м/с залежно від розмірів й густини частинок, при цьому відбувається матеріалу. У якості теплоносія використовують нагріте у калорифері до температури 100 - 130 °C повітря (при сушінні харчової продукції) або топкові гази з температурою 250 - 500 °C (при сушінні інших матеріалів). Сушарки також характеризуються є порівняно низьким

вологовидаленням з одиниці об'єму барабана, громіздкістю, підвищена втрата теплової енергії з відпрацьованим теплоносієм.

У розвантажувального кінця барабана є запірний пристрій, призначенням якого є забезпечення певного значення заповнення барабану матеріалом.

Бандажі сушарки є кільцями прямокутного перерізу і призначені для передачі тиску від ваги її обертової частини на опорні ролики. Бандажі надіваються на черевики, повернені голівками в різні боки для попередження їх аксіального зміщення. Між бандажем і кожухом барабана встановлюється підкладка з прокладками, які утворюють кільце жорсткості для попередження деформації кожуха. Черевики кріпляться до барабана зварюванням.

Ролики опорних станцій приймають на себе навантаження від ваги сушарки. Ролики закріплюються на валу з двома підшипниками, які є ковзаючими перпендикулярно до осі сушарки і для цього встановлюються на санчатах, що дозволяє регулювати положення сушарки під час експлуатації.

1.4. Мета і завдання кваліфікаційної роботи

Сушіння харчової сировини вимагає більшої уваги ніж сушіння інших матеріалів, оскільки харчова сировина має специфічні фізико-хімічні характеристики та біологічні властивості, а також досить вузький діапазон теплових впливів. При сушінні важливим для збереження якості продукції є чітке дотримання заданих температур і недопущення перекосів температурних режимів процесу, що головним чином залежить від його конструктивного оформлення

Барабанні сушарки, які широко використовується для сушіння різних матеріалів мають дуже різні конструкції насадок і власне від їх конструктивних особливостей значною мірою залежить і рівномірність сушіння зерна, забезпечення необхідної якості та ефективності процесу.

Мета роботи: проведення теоретичного дослідження впливу конструктивних параметрів сегменту підйомно-лопатевої насадки в барабанній сушарці на процес сушіння зерна пшениці та розроблення рекомендацій щодо покращення конструкції барабану сушарки.

Завдання досліджень: аналіз особливостей сушіння харчових продуктів та конструкцій сучасного сушильного обладнання, проведення аналізу будови та принципу роботи барабанної сушарки, проведення технологічних та конструктивних розрахунків сушарки, дослідження впливу конструктивних параметрів сегменту підйомно-лопатевої насадки шляхом розробки геометричної та математичної моделей та їх розрахунку, встановлення рекомендацій по удосконаленню конструкції барабану сушарки

2. МЕТОДИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Обґрунтування вибору методів і засобів досліджень

Сучасна методика проведення досліджень передбачає комплексне використання різних методів, таких як методи аналізу, синтезу, аналогії, ідеалізації, порівняння.

Використання методу аналізу при розгляді особливостей технології виробництва харчового продукту, будови та принципу роботи технологічного обладнання, при вивченні процесів, що відбуваються в обладнанні, різних параметрів, що впливають на оброблення продукту дозволяє детально розглянути вплив окремих елементів обладнання, проаналізувати окремо ті чи інші параметри, що впливають на роботу обладнання та технологічний процес оброблення продукту в ньому.

Використання методу синтезу дозволяє всебічно оцінити сумарний вплив проаналізованих швидше параметрів на роботу обладнання в цілому, узагальнити та поєднати отримані результати, сформулювати висновки та рекомендації з модернізації.

При розгляді будь якого процесу переробки будь якого продукту неможливо одночасно оцінити і врахувати всі фактори, які на нього впливають. Тому використання методу ідеалізації дозволяє прийняти при розгляді якоїсь проблеми деякі припущення для спрощення проведення досліджень, відкинути параметри, вплив яких є незначним або не визначальним і ними можна знехтувати, деякі параметри вважати «ідеальними», тобто такими, що відповідають загально відомим принципам, уявленням, визначенням, залежностям.

Метод аналогії використовуємо для перенесення і використання результатів, які можуть бути застосовані до певних явищ, які ми обґрунтовано вважаємо аналогічними.

При встановленні мінімальних, максимальних, оптимальних значень досліджуваних параметрів, впливів, підтвердження адекватності результатів дослідження, розробки рекомендацій використовуємо метод порівняння.

Також в роботі використовуються методи геометричного та математичного моделювання.

Геометричне моделювання використовується при встановленні залежностей між конструктивними елементами барабана сушарки, для подальшого вивчення їх впливу на процес обробки матеріалу в сушарці.

Математичне моделювання дозволило внести залежності отримані між конструктивними параметрами при геометричному моделюванні, використати їх при математичному описі та розрахунках впливу конструктивних параметрів елементів барабана на процес сушіння.

2.2. Алгоритм і методики проведення математичного моделювання

Відомо, що конструктивні параметри сушарок значною мірою впливають на проведення процесів сушіння матеріалів, особливо це стосується харчової продукції. Робочі ємкості технологічного обладнання для обробки харчових продуктів крім вимог до реалізації власне технологічного процесу ще мають додаткові вимоги, такі як запобігання утворення застійних зон з харчової сировини, рівномірне перемішання сировини по ходу процесу обробки, забезпечення можливості легкого очищення та на необхідності миття обладнання. Крім того важливим також є простота конструкції, рівень її енергоспоживання, вартість обладнання тощо.

Дотримання цих вимог значною мірою залежить від конструкції самого обладнання. Що стосується барабана сушарки, то деякі його конструктивні елементи, а саме насадка може суттєво конструктивно відрізнитися при обробці різних матеріалів.

Тому для аналізу впливу конструктивних параметрів насадки в роботі спочатку було виконане геометричне моделювання з метою встановлення аналітичних залежностей між геометричними параметрами лопаті насадки та барабана.

Потім за допомогою математичного моделювання визначено вплив на переміщення сировини в барабані сушарки.

У роботі всі розрахунки і представлення результатів виконані за допомогою сучасних комп'ютерних методик. Для розрахунки, обробка, представлення результатів використовувались програми MS Excel, Mathcad, графічні зображення, креслення і рисунки виконані за допомогою AutoCAD, AdobeReader, Photoshop.

3. ПРОЕКТНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ Й ТЕХНІЧНІ РІШЕННЯ ПО КОНСТРУКЦІЇ БАРАБАННОЇ СУШАРКИ СБ-1,4

3.1. Технологічний розрахунок сушарки СБ-1,4

Кількість вологи, випаровуванню за годину.

$$W = G_H \frac{U_H - U_K}{100 - U_K} = 2145 \frac{20 - 10,5}{100 - 10,5} = 204,7 \text{ кг.}$$

Кількість зерна, висушеного за годину

$$G_K = G_H - W = 2145 - 204,7 = 1940,3 \text{ кг}$$

Розміри сушильного барабана.

Об`єм барабана

$$V_{\delta} = \frac{W}{A} = \frac{204,7}{15} = 13,6 \text{ м}^3$$

де А- напруження барабана по волозі, визначувана досвідченим шляхом, [5].

$A=15\text{кг}/(\text{м}^*\text{год})$.

Відношення довжини барабана до діаметру повинно бути $4.0\div 8$; приймаємо

$$\frac{L}{D} = 5.$$

Діаметр барабана знаходимо із співвідношення

$$V_{\delta} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot L = 0,785 \cdot d^2 \cdot 5 \cdot d = 3,93d^3 ;$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{V_{\delta}}{3,92}} = \sqrt[3]{\frac{13,6}{3,93}} = 1,41 \text{ м}$$

Приймаємо діаметр барабана 1400мм

Довжина барабана

$$L = 5d = 5 \cdot 1,4 = 7,0\text{м}$$

Вибираємо сушарний барабан з діаметром $d=1400\text{мм}$ і довжиною $L=7000\text{мм}$.

Кількість обертів барабана, об/с

$$n = \frac{L}{\alpha t d \cdot \operatorname{tg} \alpha}$$

де α - дослідний коефіцієнт; $\operatorname{tg} \alpha$ - тангенс кута нахилу барабана; τ - час перебування матеріалу у барабані, сек.

Час перебування матеріалу у барабані.

$$\tau = \frac{V_{\delta} \rho_{\text{ср}} \beta}{G_{\text{ср}}} = \frac{13,6 \cdot 1000 \cdot 0,15}{0,56} = 3642 \text{сек} = 60,7 \text{хв}$$

де $G_{\text{ср}}$ - середня маса матеріалу, що проходить через барабан;

$\beta = 0,15$ - коефіцієнт заповнення барабана;

$\rho_{\text{ср}} \approx \rho_{\text{м}} = 1000 \text{кг/м}^3$ середня насипна густина матеріалу.

$$G_{\text{ср}} = \frac{G_{\text{н}} + G_{\text{к}}}{2} = \frac{2145 + 1940,3}{2} = 2042,6 \text{кг/год} = 0,56 \text{кг/с}$$

Барабани мають кут нахилу до горизонту $0,5-6^{\circ}$; приймаю $\alpha = 2^{\circ}$, $\operatorname{tg} \alpha = 0,035$. Тоді:

$$n = \frac{8}{1,2 \cdot 3642 \cdot 1,6 \cdot 0,035} = 0,0326 \text{об/сек} \approx 2 \text{об/хв.}$$

де 1,2- коефіцієнт α для підйомно-лопатевої насадки.

3.2. Структурний аналіз барабанної сушарки СБ-1,4

Основними механічними операціями, які виконуються в барабанній сушарці, є обертання барабана навколо своєї осі і поздовжній складний рух щодо осі рух висушуваного матеріалу.

Структурна схема машини показує взаємозв'язок між робочими органами та механізмами обладнання, включає основні частини устаткування. Схема барабанної сушарки СБ-1,4 включає електричний двигун, муфти, редуктор, відкриту зубчасту передачу і робочий орган (барабан).

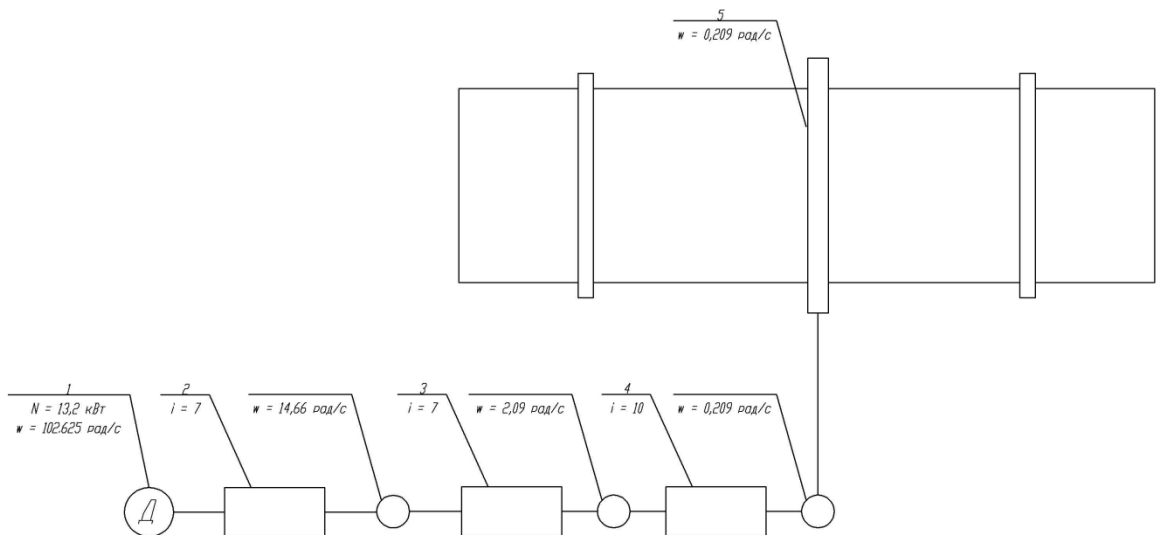


Рисунок 3.1.– Структурна схема барабанної сушарки.

3.3. Кінематичний аналіз барабанної сушарки

Орієнтовно необхідна потужність приводу барабанної сушарки може бути визначена по формулі[7] :

$$N = 0,078 \cdot d^3 L \rho_m \sigma n, \text{ кВт} \quad (3.1)$$

де d - діаметр барабана, м; L - довжина барабана, м; ρ_m - насипна густина матеріалу, кг/м^3 ; n - число оборотів барабана, с^{-1} ; σ – коефіцієнт, що залежить від типу насадки і міри заповнення барабана.

$$N = 0,078 \cdot 1,4^3 \cdot 8 \cdot 1000 \cdot 0,053 \cdot 0,0326 = 4,4 \text{ кВт.}$$

Вибираємо двигун згідно каталогу[5] потужністю 13,2 кВт тип 4A1325643 1000 об/хвил ГОСТ -19523-81

Визначаємо моменти, на валах приводу.

Момент, що обертає барабан:

$$T_B = \frac{9550N}{n};$$

$$T_B = \frac{9550 \cdot 4,4}{2} = 21010 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Момент, що обертає вал підвенцової шестерні :

$$T_{III} = \frac{T_B}{\eta_1 \cdot i_{II}};$$

де i_{II} - передатне число зубчастої передачі, приймаємо $i_{II} = 10$.

У чисельному значенні отримуємо:

$$T_{III} = \frac{21010}{0,95 \cdot 10} = 2211 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Кінематичний розрахунок [4].

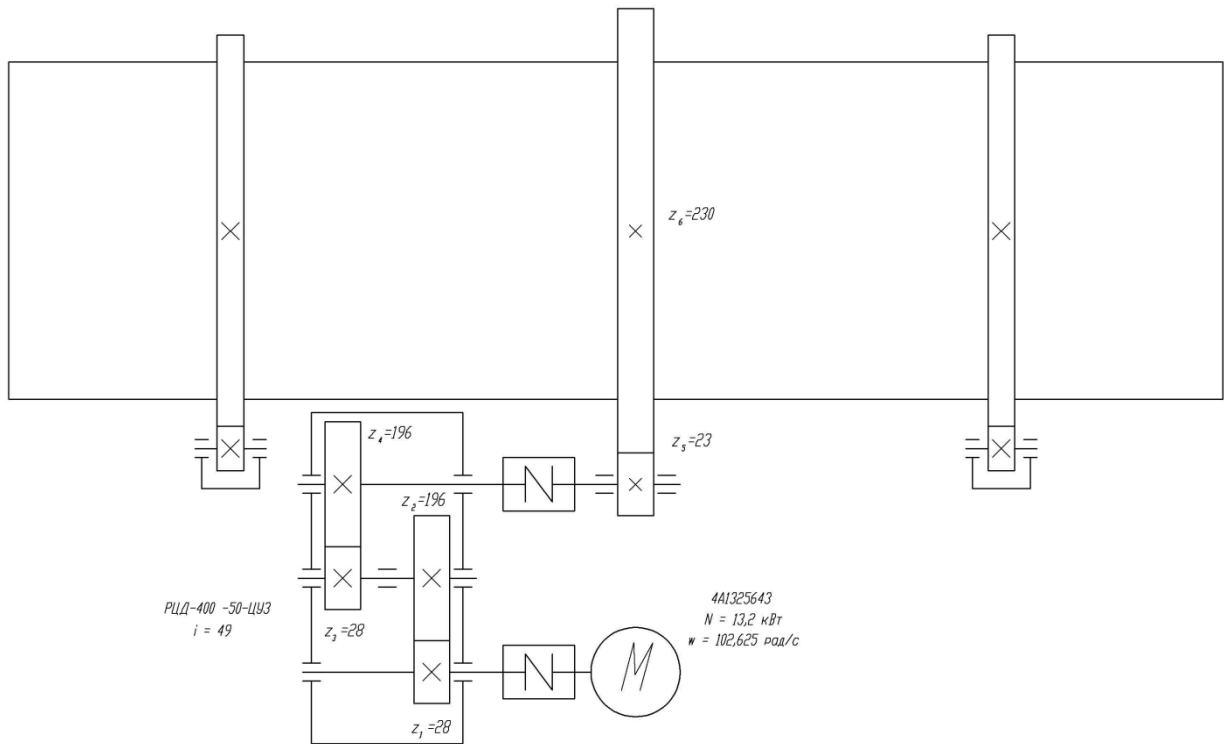


Рисунок 3.2 – Кінематична схема барабанної сушарки

У результаті кінематичного розрахунку встановлюємо є визначення загального передатного відношення від валу електродвигуна барабанної сушарки до осі валу барабану; розподіл загального передатного відношення між окремими механізмами; визначення конструктивних параметрів зубчастої передачі барабанної сушарки; визначення частот обертання валів.

Загальне передаточне число приводу визначаємо із співвідношення:

$$i = \frac{n_{НОМ}}{n_B};$$

де $n_B = 2\pi \nu^{-1}$ - частота обертання барабана;

$$i = \frac{980}{2} = 490$$

Для багатоступінчастих передач

$$i = i_1 \cdot i_2 \cdot i_3,$$

де i_1, i_2, i_3 - передатні числа окремих ступенів.

Передатне число редуктора буде рівне:

$$i_{РЕД} = \frac{i}{i_{Ц}};$$

$$i_{РЕД} = \frac{490}{10} = 49$$

Частота обертання валу електродвигуна, а, отже, і швидкохідного валу редуктора $n_{НОМ} = n_I = 980 \text{ об/хвил.}$

Частота обертання тихохідного валу редуктора визначається так:

$$n_{II} = \frac{n_{НОМ}}{i_{РЕД}};$$

$$n_{II} = \frac{980}{49} = 20 \text{ об/хв}$$

Частота обертання підвінцевої шестерні $n_{III} = n_{II} = 20 \text{ об/хв.}$

Отримані значення частот обертання зведені в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1– Частоти обертів валів і барабана.

Вал електродвигуна $n_{НОМ}, \text{ об/хв}$	Швидкохідний вал $n_I, \text{ об/хв}$	Тихохідний Вал $n_{II}, \text{ об/хв}$	Підвінцева шестерня $n_{III}, \text{ об/хв}$	Барабан $n_B, \text{ об/хв}$
980	980	20	20	2

Вибираємо редуктор РЦД-400 -50-ЦУЗ з крутячим моментом на вихідному валу 2300 Н*м і передатним відношенням 50 .

3.4. Конструктивні розрахунки

Вихідні дані:

Зовнішній діаметр барабана D , мм 1400

Довжина корпусу барабана L , мм 8000

Товщина стінки прогінної обичайки S , мм 8

Товщина стінки підбандажної обичайки S_1 , мм 10

Ширина підбандажної обичайки B , мм 400

Довжина консолі l_1 , мм 1650

Відстань між осями бандажів l_2 , мм 4700

Відстань між осями бандажа та найближчого до нього зубчастого вінця l_3 , мм 1100

Зовнішній діаметр бандажа D_b , мм 1990

Внутрішній діаметр бандажа D_2 , мм 1770

Ширина бандажа b , мм 140

Діаметр опорного ролика d_{op} , мм 500

Довжина опорного ролика b_{op} , мм 190

Маса корпусу m_k , кг 4930

Маса опорного бандажа, $m_{\bar{o}}$ кг 900

Маса опорного-упорного бандажа, $m_{\bar{y}}$, кг 900

Маса зубчастого вінця m_{ze} , кг 1095

Розрахункова температура барабана на вході теплоносія t , °C 150

Матеріал корпусу сушарки сталь 12X18H10T

Матеріал бандажа сталь 40Л

Матеріал опорного ролика сталь 35

Матеріал упорного ролика сталь 35

Матеріал вісі опорного ролика сталь 45

Насипна щільність матеріалу, що знаходиться в сушарці, ρ_m , кг/м³ 1000

При розрахунку на міцність корпусу барабанної сушарки температуру в будь-яких його небезпечних перерізах приймаємо рівною температурі на вході теплоносія.

3.4.1 Розрахунок корпусу сушарки

Розрахунок корпусу сушарки на міцність

Вагу корпусу сушарки визначаємо за формулою

$$G_1 = (m_k + m_{\text{бo}} + m_{\text{бy}} + m_{\text{зв}}) \cdot g = (4930 + 900 + 900 + 1095) \cdot 9,81 = 0,7 \cdot 10^5 \text{ H}$$

Вага матеріалу G_2 , що знаходиться в сушарці:

$$G_2 = \frac{\pi \cdot (D - 2S - 2C)^2}{4 \cdot 10^9} \cdot L \cdot \varphi_m \cdot \rho \cdot g,$$

де C – сума добавок до розрахункової товщини стінки обичайки, мм;

φ_m – коефіцієнт заповнення корпусу сушарки матеріалом (максимальне значення $\varphi_m = 0,25$).

Суму добавок до розрахункової товщини стінки прогінної обичайки [4]:

$$C = C_1 + C_2 + C_3,$$

де C_1 – добавка до розрахункової товщини стінки обичайки для компенсації корозії і ерозії, мм;

C_2 – добавка до розрахункової товщини стінки обичайки для компенсації мінусового допуску, мм;

C_3 – технологічна добавка до розрахункової товщини стінки прогінної обичайки, мм.

Добавку до розрахункової товщини стінки прогінної обичайки для компенсації корозії і ерозії приймаємо рівною нулю.

Добавку до розрахункової товщина стінки прогінної обичайки для компенсації мінусового допуску приймаємо рівною 0,8 мм.

Технологічну добавку до розрахункової товщина стінки прогінної обичайки приймаємо рівною нулю.

$$C = 0 + 0,8 + 0 = 0,8 \text{ мм.}$$

$$G_2 = \frac{3,14 * (1600 - 2 * 8 - 2 * 0,8)^2}{4 * 10^9} * 8000 * 0,25 * 1000 * 9,81 = 0,38 * 10^5$$

Рівномірно розподілене навантаження:

$$q = (G_1 + G_2) / L = \frac{0,7 \cdot 10^5 + 0,38 \cdot 10^5}{8000} = 10,8 \text{ Н / мм.}$$

Максимальну перерізувальну силу Q_1 , що діє в підбандажній обичайці:

$$Q_1 = \frac{G_1 + G_2}{2L} \cdot l_2 = \frac{0,7 \cdot 10^5 + 0,38 \cdot 10^5}{2 \cdot 8000} \cdot 4700 = 31725 \text{ Н.}$$

Перерізувальну силу Q_2 , яка діє в місці приварення підбандажної обичайки до прогінної, розраховуємо за формулою:

$$Q_2 = \frac{G_1 + G_2}{2L} \cdot (l_2 - B) = \frac{0,7 \cdot 10^5 + 0,38 \cdot 10^5}{2 \cdot 8000} \cdot (4700 - 400) = 29025 \text{ Н.}$$

Максимальний згинальний момент M_1 , Н·мм, який діє в середній частині прогінної обичайки:

$$M_1 = \frac{G_1 + G_2}{8} \cdot (l_2 - 2l_1) = \frac{0,7 \cdot 10^5 + 0,38 \cdot 10^5}{8} \cdot (4700 - 2 \cdot 1650) = 1,08 \cdot 10^7 \text{ Н·мм.}$$

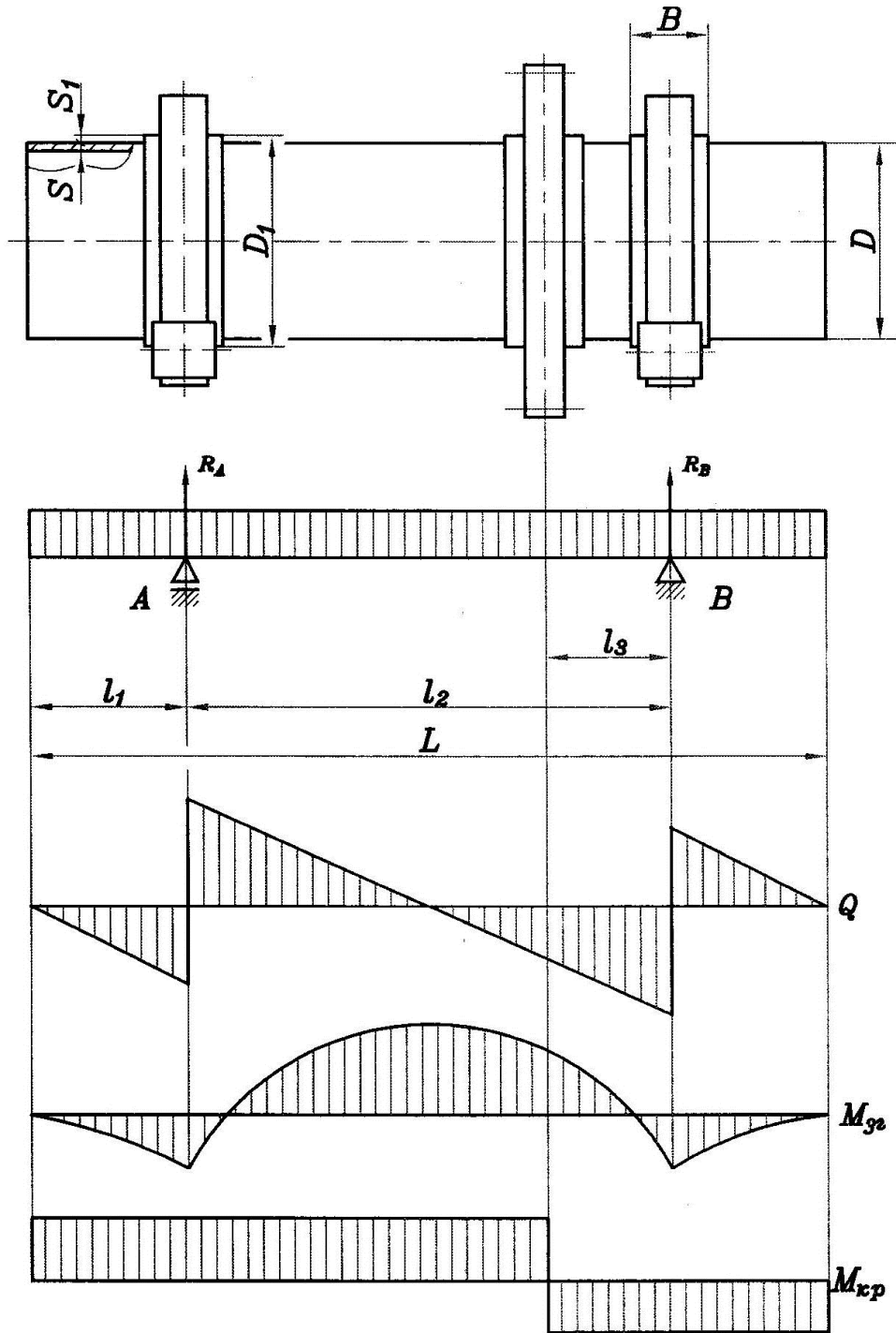


Рисунок 3.3 – Розрахункова схема корпусу барабанної сушарки

Максимальний згинальний момент M_2 , Н·мм, який діє в підбандажній обичайки:

$$M_2 = \frac{G_1 + G_2}{2L} \cdot l_1^2 = \frac{0.7 \cdot 10^5 + 0.38 \cdot 10^5}{2 \cdot 8000} \cdot 1650^2 = 1.8 \cdot 10^7 \text{ Н} \cdot \text{мм}.$$

При $L = 8000 > 4l_1 = 4 \cdot 21650 = 6600$ мм згинальний момент M_3 , Н·мм, що діє в місці при варення підбандажної обичайки до прогінної:

$$M_3 = (G_1 + G_2) \cdot (4l_1^2 + B^2 - 4l_1 \cdot B) / 8L = \\ = \frac{(0.7 \cdot 10^5 + 0.38 \cdot 10^5) \cdot (4 \cdot 1650^2 + 400^2 - 4 \cdot 1650 \cdot 400)}{8 \cdot 8000} = \\ = 1.4 \cdot 10^7 \text{ Н} \cdot \text{мм}.$$

Крутний момент, який виникає в зубчастому зачепленні M_k , Н мм:

$$M_k = 9,55 \cdot 10^6 \cdot \frac{N}{n_{\sigma}} \cdot \eta,$$

де N – потужність електродвигуна приводу барабану, кВт;

n_{σ} – частота обертання барабану, об/хв;

η – коефіцієнт корисної дії приводу (орієнтовно $\eta = 0,8$).

Частоту обертання і потужність приводу барабана сушарки приймаємо за каталогом .

Враховуючи, що сушарка комплектується трьохшвидкістним електродвигуном, крутний момент визначаємо для всіх трьох режимів.

При частоті обертання барабана $n_{\sigma} = 0,053 \text{ с}^{-1}$ (2 об/хв) і потужності електродвигуна $N = 13$ кВт крутний момент складає

$$M_k = 9,55 \cdot 10^6 \cdot \frac{13}{2} \cdot 0,8 = 4,9 \cdot 10^7 \text{ Н} \cdot \text{мм}.$$

Крутний момент M_{k1} , що діє в підбандажній обичайці:

$$M_{k1} = 9,55 \cdot 10^6 \cdot \frac{N \cdot \eta}{n_{\sigma} \cdot L} \cdot (l_1 + l_2 - l_3) = \\ = 9,55 \cdot 10^6 \cdot \frac{13 \cdot 0,8}{2 \cdot 8000} \cdot (1650 + 4700 - 1100) = 3,2 \cdot 10^7 \text{ Н} \cdot \text{мм}.$$

Момент інерції поперечного перерізу прогінної обичайки визначаємо за формулою:

$$J_x = \pi \cdot D^3 \cdot (S - C) / 8 = 3,14 \cdot 1600^3 \cdot (8 - 0,8) / 8 = 1,1 \cdot 10^{10} \text{ мм}^4.$$

Момент опору згину поперечного перерізу прогінної обичайки

визначаємо за формулою:

$$W_x = 2J_x / D = 2 \cdot 1.1 \cdot 10^{10} / 1600 = 1.3 \cdot 10^7 \text{ мм}.$$

Розрахункове напруження σ_1 в середній частині прогінної обичайки розраховуємо за формулою

$$\sigma_1 = \frac{M_1}{W_x} = \frac{1.08 \cdot 10^7}{1.3 \cdot 10^7} = 0.83 \text{ МПа}.$$

Статичний момент поперечного перерізу прогінної обичайки S_x визначаємо за формулою

$$S_x = 0,5 D^2 \cdot (S - C) = 0,5 \cdot 1600^2 \cdot (8 - 0,8) = 1,1 \cdot 10^7 \text{ мм}^3.$$

Зовнішній діаметр підбандажної обичайки розраховуємо за формулою

$$D_1 = D + 2S_1 = 1600 + 2 \cdot 10 = 1620 \text{ мм}.$$

Статичний момент поперечного перерізу прогінної та підбандажної обичайок визначаємо за формулою

$$S_{x1} = 0,5 D_1^2 \cdot (S + S_1 - C) = 0,5 \cdot 1620^2 \cdot (8 + 10 - 0,8) = 2,2 \cdot 10^7 \text{ мм}^3.$$

Момент інерції поперечного перерізу прогінної та підбандажної обичайок визначаємо за формулою

$$J_{x1} = \frac{\pi \cdot D_1^3 \cdot (S + S_1 - C)}{8} = \frac{3,14 \cdot 1620^3 \cdot (8 + 10 - 0,8)}{8} = 1,6 \cdot 10^{10} \text{ мм}^4$$

Момент опору згину поперечного перерізу прогінної та підбандажної обичайок визначаємо за формулою

$$W_{x1} = \frac{2J_{x1}}{D_1} = \frac{2 \cdot 1,6 \cdot 10^{10}}{1620} = 8,5 \cdot 10^7 \text{ мм}^3.$$

Розрахункове напруження σ_2 , яке виникає в підбандажній обичайці, визначаємо за формулою

$$\sigma_2 = \frac{\sqrt{M_2^2 + M_{к1}^2}}{W_{x1}} = \frac{\sqrt{(1,8 \cdot 10^7)^2 + (3,2 \cdot 10^7)^2}}{8,5 \cdot 10^7} = 0,4 \text{ МПа}.$$

Розрахункове напруження τ_2 , яке виникає в підбандажній обичайці, визначаємо за формулою

$$\tau_2 = \frac{Q_1 \cdot S_{x1}}{2 J_{x1} \cdot (S + S_1 - C)} = \frac{31725 \cdot 2.2 \cdot 10^7}{2 \cdot 1.6 \cdot 10^{10} \cdot (8 + 10 - 0.8)} = 1,26 \text{ МПа.}$$

Коефіцієнт зварного шва виконаного напівавтоматичною зваркою з одного боку при 100 % контролі його довжини приймаємо за навчальним посібником [7]

$$\varphi = 0,9.$$

Розрахункове напруження σ_3 в місці приварення підбандажної обичайки до прогінної визначаємо за формулою

$$\sigma_3 = \frac{\sqrt{M_3^2 + M_{\kappa 1}^2}}{\varphi \cdot W_x} = \frac{\sqrt{(1.4 \cdot 10^7)^2 + (3.2 \cdot 10^7)^2}}{0,9 \cdot 1.3 \cdot 10^7} = 2,9 \text{ МПа.}$$

Розрахункове напруження τ_3 в місці при варення підбандажної обичайки до прогінної:

$$\tau_3 = \frac{Q_2 \cdot S_{x1}}{2 J_{x1} \cdot (S - C)} = \frac{29025 \cdot 2.2 \cdot 10^7}{2 \cdot 1.6 \cdot 10^{10} \cdot (8 - 0.8)} = 2,6 \text{ МПа.}$$

де $[\sigma]_{\kappa}^{t1}$ допустиме напруження для матеріалу прогінної обичайки при
– розрахунковій температурі під бандажем, розташованим поблизу входу теплоносія, МПа;

$[\sigma]_{\kappa}^{t3}$ допустиме напруження для матеріалу прогінної обичайки при
– розрахунковій температурі в її середній частині, МПа;

$[\tau]_{\kappa}^{t1}$ допустиме дотичне напруження для матеріалу прогінної обичайки при
розрахунковій температурі під бандажем, розташованим поблизу входу теплоносія, МПа.

Умови міцності корпусу розраховуємо за формулами :

$$\sigma_1 \leq [\sigma]_{\kappa}^{t3}; \sigma_2 \leq [\sigma]_{\kappa}^{t1}; \sigma_3 \leq [\sigma]_{\kappa}^{t1}; \tau_2 \leq [\tau]_{\kappa}^{t1}; \tau_3 \leq [\tau]_{\kappa}^{t1},$$

Розрахункову температуру барабана в будь-якому небезпечному перерізі приймаємо рівною температурі теплоносія на вході в барабан, тобто $t_1 = t_3 = t = 150 \text{ }^\circ\text{C}$. При цьому допустимі напруження складають

$$[\sigma]_{\kappa}^{t1} = [\sigma]_{\kappa}^{t3} = 146 \text{ МПа.}$$

Умови

$$\sigma_1 = 0.83 < 146 \text{ МПа}; \sigma_2 = 0,4 < 146 \text{ МПа}; \sigma_3 = 2.9 < 146 \text{ МПа}$$

виконуються.

Допустиме дотичне напруження визначаємо за формулою (2)

$$[\tau]_K^{t1} = 0,5 [\sigma]_K^{t1} = 0,5 \cdot 146 = 73 \text{ МПа.}$$

Умови

$$\tau_2 = 1,26 < [\tau]_K^{t1} = 73 \text{ МПа}; \tau_3 = 2,6 < [\tau]_K^{t1} = 73 \text{ МПа}$$

виконуються.

Розрахунок корпусу сушарки на стійкість

Допустимий згинальний момент за умови міцності визначаємо за формулою

$$[M]_{II} = 0,25\pi \cdot (D - 2S) \cdot (D - S - C) \cdot (S - C) \cdot [\sigma]_K^{t1} = \\ = 0,25 \cdot 3,14 \cdot (1600 - 2 \cdot 8) \cdot (1600 - 8 - 0,8) \cdot (8 - 0,8) \cdot 146 = 2 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot \text{мм.}$$

Допустимий згинальний момент за умови стійкості в межах пружності визначаємо за формулою

$$[M]_E = \frac{89 \cdot 10^{-6} \cdot E_K^{t1}}{n_y} \cdot [D - 2(S - C)]^3 \cdot \left[\frac{100(S - C)}{D - 2(S - C)} \right]^{2,5}$$

де $[E]_K^{t1}$ – модуль подовжньої пружності матеріалу корпусу при розрахунковій температурі під бандажем, розташованим поблизу входу теплоносія, МПа;

n_y – коефіцієнт запасу стійкості.

Модуль подовжньої пружності матеріалу корпусу при розрахунковій температурі під бандажем, розташованим поблизу входу теплоносія, при температурі 200 °С за додатком А, таблиця А.2 складає $1,9 \cdot 10^5$ МПа.

$$[M]_E = \frac{89 \cdot 10^{-6} \cdot 1,99 \cdot 10^5}{2,4} \cdot [1600 - 2 \cdot (8 - 0,8)]^3 \cdot \left[\frac{100 \cdot (8 - 0,8)}{1600 - 2 \cdot (8 - 0,8)} \right]^{2,5} = \\ = 6,8 \cdot 10^9 \text{ МПа.}$$

Допустимий згинальний момент визначаємо за формулою

$$[M] = \frac{[M]_{II}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[M]_{II}}{[M]_E}\right)^2}} = \frac{2 \cdot 10^9}{\sqrt{1 + \left(\frac{2 \cdot 10^9}{6.8 \cdot 10^9}\right)^2}} = 3,8 \cdot 10^9 \text{ МПа.}$$

Умова стійкості корпусу сушарки

$$M_1 = 1.08 \cdot 10^7 \leq [M] = 3,8 \cdot 10^9 \text{ МПа}$$

виконується.

3.4.2 Розрахунок бандажа та опорного ролика

Розрахунок опорного ролика на контактну міцність

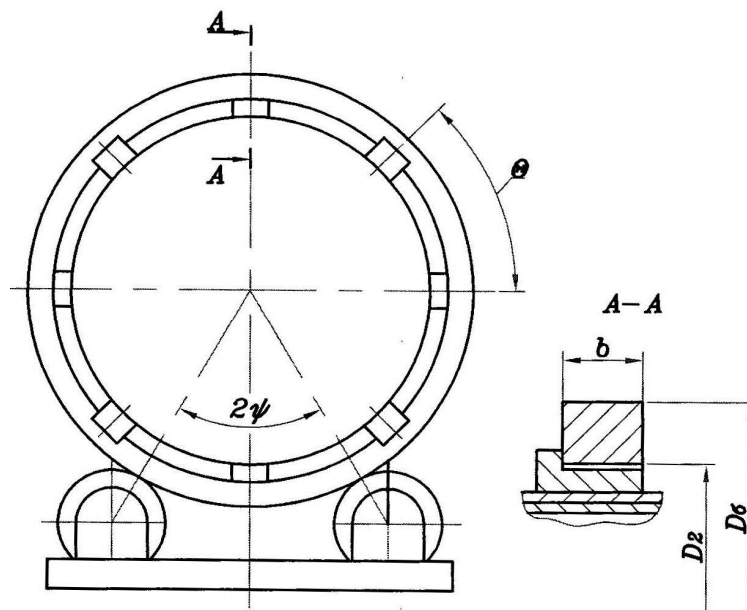


Рисунок 3.4– Розрахункова модель бандажа

Максимальне еквівалентне контактне напруження в бандажі та опорному ролику визначають за формулою

$$\sigma_{екв} = 0,42 \sqrt{\frac{G_1 + G_2}{b \cdot \pi \cdot (1 - \mu^2)} \cdot \frac{E_\delta \cdot E_{op}}{E_\delta + E_{op}} \cdot \frac{D_\delta + d_{op}}{D_\delta \cdot d_{op}}},$$

де 2ψ – кут між опорними роликами, град. (рис. 2), $2\psi = 60^\circ$;

–

E_δ – модуль подовжньої пружності матеріалу бандажа при розрахунковій температурі, МПа;

E_{op} – модуль подовжньої пружності матеріалу опорного ролика при розрахунковій температурі, МПа;

μ – коефіцієнт Пуассона для матеріалу бандажа (для сталі $\mu = 0,3$).

Модулі подовжньої пружності матеріалів бандажа та опорного ролика при розрахунковій температурі 100 °С визначаємо за таблицею А.2

$$E_{\sigma} = E_{op} = 2,05 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{екв} = 0,42 \times \sqrt{\frac{0,7 \cdot 10^5 + 0,38 \cdot 10^5}{140 \cdot 3,14 \cdot (1 - 0,3^2)} \cdot \cos 30^\circ \cdot \frac{2,05 \cdot 10^5 \cdot 2,05 \cdot 10^5}{2,05 \cdot 10^5 + 2,05 \cdot 10^5} \cdot \frac{1990 + 500}{1990 \cdot 500}} = 135 \text{ МПа.}$$

Умова контактної міцності має вигляд

$$\sigma_{екв} \leq [\sigma]_{мор},$$

де $[\sigma]_{мор}$ – допустиме напруження при розрахунку на контактну міцність матеріалу опорного ролика при розрахунковій температурі, МПа.

Для матеріалу опорного ролика (нормалізована сталь 35) з діаметром заготовки до 800 мм допустиме напруження при розрахунковій температурі 100 °С складає $[\sigma]_{мор} = 83$ МПа ([10] додаток А,). таблиця А.1).

Допустиме напруження при розрахунку на контактну міцність матеріалу опорного ролика при розрахунковій температурі $[\sigma]_{мор}$, МПа, визначаємо за формулою

$$[\sigma]_{мор} = 2,5[\sigma]_{ор},$$

де $[\sigma]_{ор}$ – допустиме напруження для матеріалу опорного ролика при розрахунковій температурі, МПа

$$[\sigma]_{мор} = 2,5 \cdot 83 = 207 \text{ МПа.}$$

Отже умова контактної міцності матеріалу опорного ролика

$$\sigma_{екв} = 135 \leq [\sigma]_{мб} = 207 \text{ МПа}$$

виконується.

Розрахунок бандажа на міцність при згині

Кут між башмаками визначаємо за формулою

$$\theta = 2\pi / n_1,$$

де n_1 – кількість башмаків під бандажем, $n_1 = 12$ (вибирають за стандартом [10]).

$$\Theta = 2 \cdot 3,14 / 12 = 0,5 \text{ рад.}$$

Визначаємо кут, що доповнює кут Ψ до 180° , визначаємо за формулою

$$\beta = 2 \cdot \pi \cdot (180 - \psi) = 2 \cdot 3,14 \cdot (180 - 30) / 360 = 2,6 \text{ рад.}$$

Максимальний згинальний момент, який діє в бандажі при відсутності стисненості температурних переміщень корпусу, визначаємо за формулою

$$M_{\sigma 1} = -\frac{(G_1 + G_2) \cdot (D_{\sigma} + D_2)}{2\pi \cdot n_1} \times \\ \times \left[\frac{1}{2} \operatorname{ctg} \frac{\theta}{2} + \frac{n_1}{8 \cos \beta} - \frac{n_1}{8} \cdot (\pi - \beta) \cdot \operatorname{tg} \beta - \frac{\pi}{8} \cdot \operatorname{ctg} \theta \right] = \\ = -\frac{(0,7 \cdot 10^5 + 0,38 \cdot 10^5) \cdot (1990 + 1770)}{2 \cdot 3,14 \cdot 12} \times$$

$$\times \left[\frac{1}{2} \cdot \operatorname{ctg} \frac{0,5}{2} + \frac{12}{8 \cdot \cos 2,6} - \frac{12}{8} \cdot (3,14 - 2,62) \cdot \operatorname{tg} 2,6 - \frac{3,14}{8} \cdot \operatorname{ctg} 0,5 \right] = 0,25 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{мм.}$$

Момент опору згину поперечного перерізу бандажа визначаємо за формулою

$$W_{x\sigma} = b_{\sigma} \cdot (D_{\sigma} - D_2)^2 / 24 = 140 \cdot (1990 - 1770)^2 / 24 = 2,8 \cdot 10^5 \text{ мм}^3.$$

Напруження згину в бандажі визначаємо за формулою

$$\sigma_{\sigma} = M_{\sigma 1} / W_{x\sigma} = \frac{0,26 \cdot 10^6}{2,8 \cdot 10^5} = 2,6 \text{ МПа.}$$

Умова міцності бандажа при згині

$$\sigma_{\sigma} = 2,6 \leq [\sigma]_a = 93 \text{ МПа}$$

виконується.

Розрахунок бандажа на втомну міцність

Мінімальне значення межі міцності матеріалу бандажа складає $R_m = 570 \text{ МПа}$ (додаток А, таблиця А.3).

Коефіцієнт, який враховує вплив шорсткості поверхні бандажа, визначаємо за формулою .

$$\sigma_{-1} = 0,43 R_m = 0,43 \cdot 570 = 245 \text{ МПа}.$$

Для сталевого бандажа, що виготовляються із поковки, приймаємо $\varepsilon_{\sigma} = 0,5$.

Коефіцієнт, який враховує вплив шорсткості поверхні бандажа, визначаємо [6]. Для бандажів, виготовлених зі сталі марки 40 ($R_m = 570 \text{ МПа}$) методом тонкого точіння $\beta_1 = 0,9$.

Коефіцієнт, який враховує термічну обробку поверхні бандажа, визначаємо [6]. $\beta_2 = 1,3$.

Коефіцієнт стану поверхні бандажа визначаємо за формулою

$$\beta_{\sigma} = \beta_1 \cdot \beta_2 = 0,9 \cdot 1,3 = 1,17,$$

Для перевірки бандажа на втомність при відсутності обмеженості температурних переміщень корпусу визначаємо розрахунковий коефіцієнт запасу втомної міцності за формулою

$$n_{\sigma} = \frac{2\sigma_{-1} \cdot \varepsilon_{\sigma} \cdot \beta_{\sigma}}{\sigma_{\sigma}} = \frac{2 \cdot 245 \cdot 0,5 \cdot 1,17}{2,6} = 110,2.$$

Умова витривалості

$$n_{\sigma} = 110 \geq n = 2,5$$

виконується.

3.4.4 Розрахунок вісі опорного ролика

Розрахунок вісі опорного ролика на міцність при згині

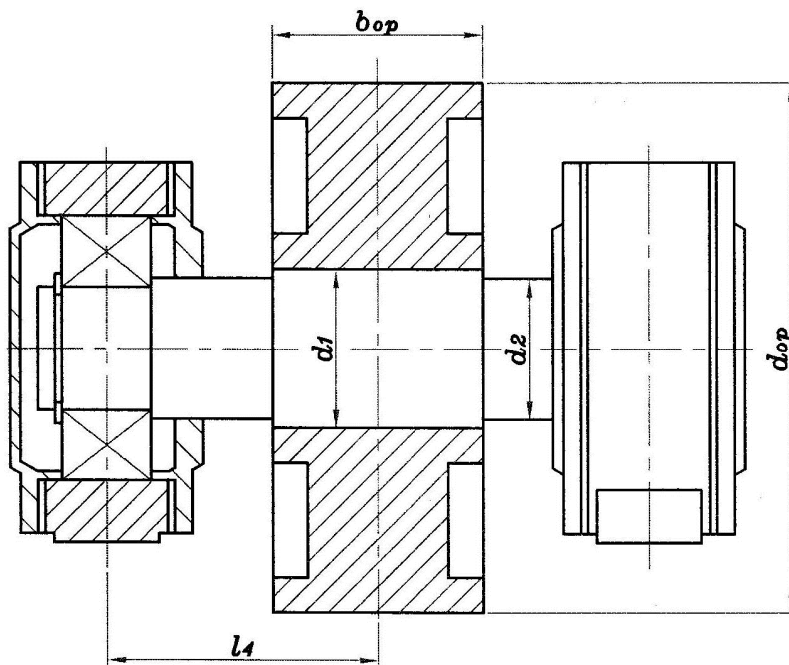


Рисунок 3.5 – Розрахункова схема опорного ролика та його осі

Відстань між осями опорного ролика та підшипника приймаємо за галузевим стандартом [11], $l_4 = 235$ мм.

Допустиме напруження для матеріалу вісі опорного ролика приймаємо за таблицею А.1, $[\sigma]_{oc} = 171$ МПа.

Діаметр осі під опорним роликом визначаємо за формулою

$$d_1 = \sqrt[3]{\frac{4(G_1 + G_2) \cdot (l_4 - 0,3b_{op})}{\pi \cdot [\sigma]_{oc}}} =$$
$$= \sqrt[3]{\frac{4 \cdot (0,7 \cdot 10^5 + 0,38 \cdot 10^5) \cdot (235 - 0,3 \cdot 190)}{3,14 \cdot 171}} = 52,3 \text{ мм.}$$

Приймаємо діаметр вісі під опорним роликом з конструктивних міркувань рівним 110 мм.

Максимальне напруження згину у вісі опорного ролика визначаємо за формулою

$$\begin{aligned}\sigma_{oc} &= \frac{4(G_1 + G_2) \cdot (l_4 - 0,3 b_{op})}{\pi \cdot d_1^3 \cdot \cos \psi} = \\ &= \frac{4 \cdot (0,7 \cdot 10^5 + 0,38 \cdot 10^5) \cdot (235 - 0,3 \cdot 190)}{3,14 \cdot 110^3 \cdot \cos 30^\circ} = 21 \text{ МПа}.\end{aligned}$$

Умова міцності при згині вісі опорного ролика

$$\sigma_{oc} = 21 \leq [\sigma]_{oc} = 171 \text{ МПа}$$

виконується.

Розрахунок з'єднання опорного ролика з віссю по посадці з гарантованим
натягом

Середній контактний тиск у з'єднанні визначаємо за формулою

$$q_{\kappa} = \frac{K_1 \cdot (G_1 + G_2) \cdot (\sin \alpha + f_1)}{4 \pi \cdot d_1 \cdot b_{op} \cdot f_2 \cdot \cos \psi} + \frac{0,05 \sigma_{oc} \cdot d_1}{b_{op}},$$

де α – кут нахилення барабана до лінії горизонту, град, (приймаємо рівним $\alpha = 2^\circ$);

f_1 – коефіцієнт тертя між барабаном та опорним роликом (для сухого тертя сталі по сталі $f_1 = 0,2$);

f_2 – коефіцієнт тертя (зчеплення) при з'єднанні опорного ролика та його осі з гарантованим натягом $f_2 = 0,15$);

K_1 – коефіцієнт запасу зчеплення між опорним роликом та його віссю ($K_1 = 1,6$).

$$q_{\kappa} = \frac{1,6 \cdot (0,7 \cdot 10^5 + 0,38 \cdot 10^5) \cdot (\sin 2^\circ + 0,2)}{4 \cdot 3,14 \cdot 110 \cdot 190 \cdot 0,15 \cdot \cos 30^\circ} + \frac{0,05 \cdot 21 \cdot 110}{190} = 1,7 \text{ МПа}.$$

де μ_1, μ_2 – коефіцієнти Пуассона для матеріалів осі та ролика відповідно ($\mu_1 = \mu_2 = 0,3$).

Коефіцієнт K_2 визначаємо за формулою

$$K_2 = \frac{1 + (d_1 / d_{op})^2}{1 - (d_1 / d_{op})^2} + \mu_2 = \frac{1 + (110 / 500)^2}{1 - (110 / 500)^2} + 0,3 = 1,3.$$

Шорсткість посадочної поверхні опорного ролика для 6 класу шорсткості визначаємо за стандартом [10], $R_{z1} = 8 \text{ мкм}$.

Шорсткість посадочної поверхні вісі опорного ролика для 7 класу шорсткості визначаємо за стандартом [10], $R_{z2} = 4 \text{ мкм}$.

Модуль подовжньої пружності матеріалу опорного ролика при розрахунковій температурі 100°C складає $E_{op} = 2,05 \cdot 10^5 \text{ МПа}$

Модуль подовжньої пружності матеріалу вісі опорного ролика при розрахунковій температурі 100°C складає $E_{віс} = 2,05 \cdot 10^5 \text{ МПа}$

Потрібний мінімальний натяг у з'єднанні визначаємо за формулою

$$\begin{aligned} \delta_{\min} &= q_{\kappa} \cdot d_1 \cdot \left(\frac{1 - \mu_1}{E_{віс}} + \frac{K_2}{E_{op}} \right) + 1,2 (R_{z1} + R_{z2}) = \\ &= 1,7 \cdot 110 \cdot \left(\frac{1 - 0,3}{2,05 \cdot 10^5} + \frac{1,3}{2,05 \cdot 10^5} \right) + 1,2 \cdot (0,008 + 0,004) = 0,016 \text{ мм.} \end{aligned}$$

Мінімальне значення умовної межі текучості матеріалу упорного ролика при розрахунковій температурі $R_e = 355 \text{ МПа}$.

Потрібний максимальний натяг у з'єднанні визначаємо за формулою

$$\begin{aligned} \delta_{\max} &= 0,5 R_e \cdot d_1 \cdot \left(\frac{1 - \mu_1}{E_{віс}} + \frac{K_2}{E_{op}} \right) \cdot \left[1 - \left(\frac{d_1}{d_{op}} \right)^2 \right] + 1,2 (R_{z1} + R_{z2}) = \\ &= 0,5 \cdot 355 \cdot 110 \cdot \left(\frac{1 - 0,3}{2,05 \cdot 10^5} + \frac{1,3}{2,05 \cdot 10^5} \right) \cdot \left[1 - \left(\frac{110}{500} \right)^2 \right] + 1,2 \cdot (0,008 + 0,004) = \\ &= 0,19 \text{ мм.} \end{aligned}$$

Посадку опорного ролика на вісь вибираємо за стандартом за умови працездатності з'єднання :

$$\delta_{P_{\min}} < \delta_{\min} ;$$

$$\delta_{P_{\max}} < \delta_{\max} ,$$

де $\delta_{P_{\min}}$, $\delta_{P_{\max}}$ – мінімальний та максимальний імовірнісні натяги посадки відповідно, мм.

Вибираємо посадку опорного ролика на вісь Н8/с7.

Відхилення отвору для посадки $H8$ складає:

– максимальне $ES = 0,063 \text{ мм}$;

– мінімальне $EI = 0,0 \text{ мм}$.

Відхилення вала для посадки $s7$ складає:

– максимальне $es = 0,14 \text{ мм}$;

– мінімальне $ei = 0,1 \text{ мм}$.

Середній натяг посадки визначаємо за формулою

$$\delta_{cp} = \frac{es + ei}{2} - \frac{ES + EI}{2} = \frac{0,14 + 0,1}{2} - \frac{0,063 - 0}{2} = 0,0885 \text{ мм}.$$

Середнє квадратичне відхилення табличного натягу визначаємо за формулою

$$S_{\delta} = \sqrt{\left(\frac{es - ei}{6}\right)^2 + \left(\frac{ES - EI}{6}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,14 - 0,1}{6}\right)^2 + \left(\frac{0,063 - 0}{6}\right)^2} = \\ = 0,01243 \text{ мм}.$$

Квантиль нормального розподілення при значенні імовірності $P = 0,97$,

$t^* = 1,88$.

Мінімальний імовірнісний натяг посадки визначаємо за формулою

$$\delta_{P_{\min}} = \delta_{cp} - t^* \cdot S_{\delta} = 0,0885 - 1,88 \cdot 0,01243 = 0,0651 \text{ мм}.$$

Максимальний імовірнісний натяг посадки визначаємо за формулою

$$\delta_{P_{\max}} = \delta_{cp} + t^* \cdot S_{\delta} = 0,0885 + 1,88 \cdot 0,01243 = 0,1119 \text{ мм}.$$

Умови працездатності з'єднання:

$$\delta_{P_{\min}} = 0,0651 > \delta_{\min} = 0,019 \text{ мм};$$

$$\delta_{P_{\max}} = 0,1119 < \delta_{\max} = 0,274 \text{ мм}$$

виконуються.

Максимальне еквівалентне напруження, що виникає у з'єднанні, визначаємо за формулою

$$\sigma_{\text{екв}H} = \frac{2\delta_{cp}}{d_1 \cdot \left(\frac{1-\mu_1}{E_{\text{вс}}} + \frac{K_2}{E_{op}} \right) \cdot \left[1 - \left(\frac{d_1}{d_{op}} \right)^2 \right]} =$$

$$= \frac{2 \cdot 0,0885}{110 \cdot \left(\frac{1-0,3}{2,05 \cdot 10^5} + \frac{1,3}{2,05 \cdot 10^5} \right) \cdot \left[1 - \left(\frac{110}{500} \right)^2 \right]} = 17,3 \text{ МПа.}$$

Умова відсутності пластичних деформацій у з'єднанні

$$\sigma_{\text{екв}H} = 17,3 < R_e = 355 \text{ МПа}$$

виконується.

Розрахунок упорного ролика на контактну міцність

Для матеріалу упорного ролика (нормалізована сталь 35) з діаметром заготовки до 800 мм допустиме напруження при розрахунковій температурі 100 °С складає $[\sigma]_{yp} = 83 \text{ МПа}$

Допустиме напруження при розрахунку на контактну міцність матеріалу упорного ролика при розрахунковій температурі $[\sigma]_{m,yp}$, МПа, визначаємо за формулою (3)

$$[\sigma]_{m,yp} = 2,5 [\sigma]_{yp} = 2,5 \cdot 83 = 207 \text{ МПа} .$$

Робочу довжину твірної конуса упорного ролика визначаємо за формулою

$$l_4 \geq \frac{0,72(G_1 + G_2) \cdot (\sin \alpha + f_1) \cdot \frac{E_{\sigma} \cdot E_{yp}}{E_{\sigma} + E_{yp}}}{[\sigma]_{m,yp}^2 \cdot \pi \cdot (1 - \mu_2^2) \cdot D_{\sigma}} =$$

$$= \frac{0,72 \cdot (0,7 \cdot 10^5 + 0,38 \cdot 10^5) \cdot (\sin 2^\circ + 0,2) \cdot \frac{2,05 \cdot 10^5 \cdot 2,05 \cdot 10^5}{2,05 \cdot 10^5 + 2,05 \cdot 10^5}}{207^2 \cdot 3,14 \cdot (1 - 0,3^2) \cdot 1990} = 15,3 \text{ мм.}$$

Довжину твірної конуса упорного ролика приймаємо за стандартом [10], $l_4 = 90 \text{ мм}$.

Максимальне еквівалентне контактне напруження в бандажі та упорному ролику слід визначати за формулою

$$\begin{aligned}
\sigma_{екв.ур} &= 0,85 \sqrt{\frac{(G_1 + G_2) \cdot (\sin \alpha + f_1) \cdot \frac{E_{\delta} \cdot E_{ур}}{E_{\delta} + E_{ур}}}{\pi \cdot (1 - \mu_2^2) \cdot D_{\delta} \cdot l_4}} = \\
&= 0,85 \sqrt{\frac{(0,7 \cdot 10^5 + 0,38 \cdot 10^5) \cdot (\sin 2^{\circ} + 0,2) \cdot \frac{2,05 \cdot 10^5 \cdot 2,05 \cdot 10^5}{2,05 \cdot 10^5 + 2,05 \cdot 10^5}}{3,14 \cdot (1 - 0,3^2) \cdot 1990 \cdot 90}} = \\
&= 60 \text{ МПа}.
\end{aligned}$$

Умова контактної міцності упорного ролика

$$\sigma_{екв.ур} = 60 \leq [\sigma]_{мур} = 203 \text{ МПа}.$$

виконується.

4. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ СЕКМЕНТУ ПІДЙОМНО-ЛОПАТЕВОЇ НАСАДКИ В БАРАБАННІЙ СУШАРЦІ

4.1. Аналіз конструкції барабану сушарки з підйомно-лопатевою насадкою

Барабан сушарки це обертового металевий циліндр, розміщений з невеликим нахилом, щоб викликати переміщення твердих частинок в поздовжньому напрямку.

Вологий дисперсний матеріал зазвичай вводять у сушарку через потік гарячого повітря. За рахунок обертання барабану, повітряного потоку, наявності насадок і нахилу барабана, зернистий матеріал поступово рухається до виходу з барабана.

Гарячий потік забезпечує тепло, необхідне для випаровування вмісту води в матеріалі. Щоб сприяти контакту між твердою речовиною та повітряним потоком, матеріал зазвичай піднімають за допомогою різних насадок (рис. 4.1.), розташованих навколо внутрішньої бічної поверхні труби.

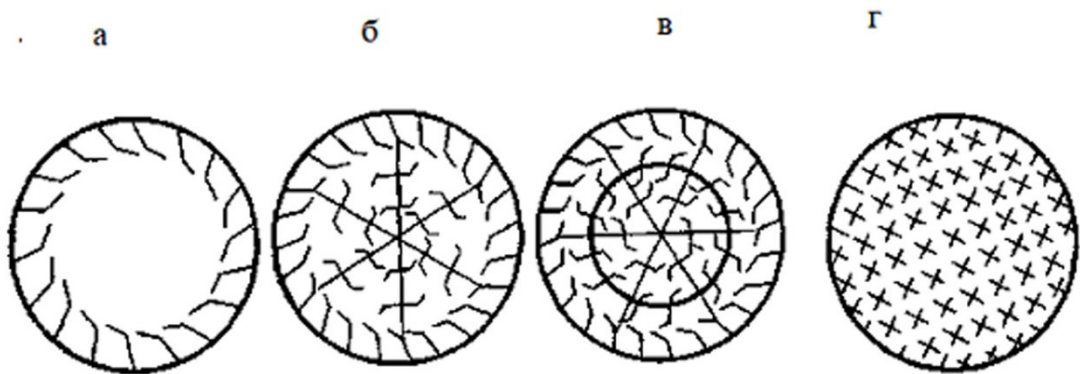


Рисунок 4.1. Види насадок у сушильному барабані:

а — периферійна; б — секторна; в — секторна з внутрішнім кільцем;
г — хрестоподібна

Відповідно до технологічних потреб насадки також можуть використовуватися для прискорення або сповільнення руху матеріалу. Загалом рух твердих частинок всередині сушарки можна розкласти на послідовні каскадні етапи [4,5].

Удосконалення конструкції барабанних сушарок для зменшення енергоспоживання та забезпечення кращого контролю якості кінцевого продукту сьогодні є актуальним питанням, тому багато авторів приділяють увагу їхньому вивченню [19–24].

Конструкція сушарок дуже важлива для контролю ефективності сушіння. Багато дослідників продемонстрували, що насадки сушарки, а точніше їхня конструкція, є критично важливими елементами, які слід враховувати при проектуванні барабанної сушарки, оскільки вони можуть значно вплинути на ефективність сушіння.

Використовуючи геометричну модель [25, 26], розглянемо взаємодію матеріалу з двохсегментною падйомно-лопатевою насадкою (лопаттю) з довільним кутом між сегментами.

Таку форму насадки було вибрано для дослідження виходячи з особливостей сушіння харчової продукції в барабанній сушарці, а саме: не утворення застійних зон в робочій області сушарки, легкість очищення і догляду за сушаркою, максимальна тривалість контакту з теплоносієм.

4.2. Геометрична модель барабана сушарки

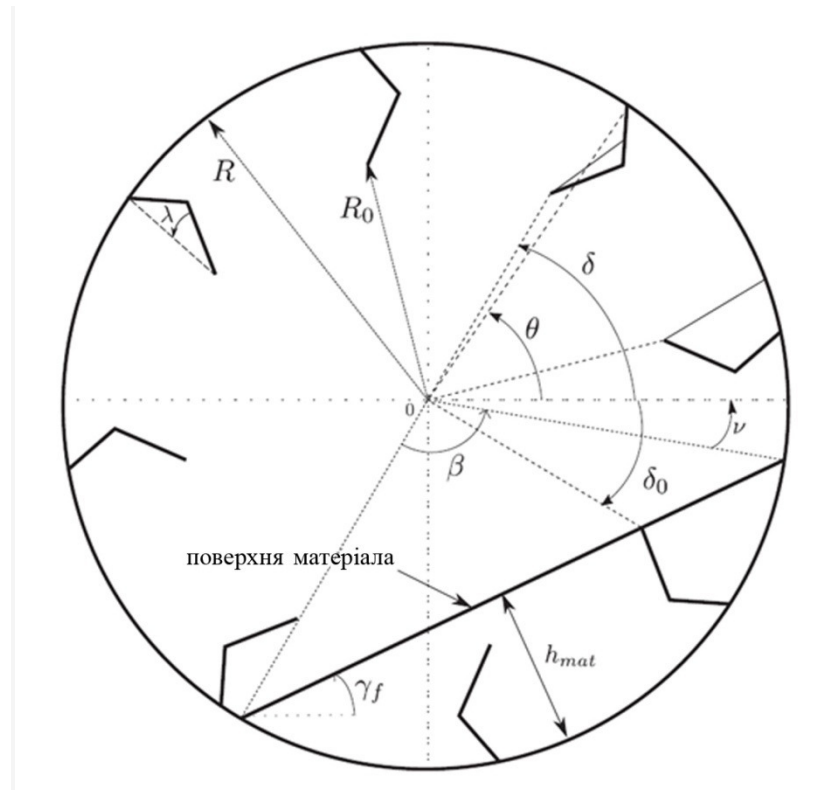


Рисунок 4.2. - Схематичний вигляд секції барабана з лопатями

Розглянемо барабан радіуса R і довжини L з N_f однаковими лопатями, як показано на рис. 4.2. Барабан обертається з кутовою швидкістю ω . Кутове положення лопаті позначається θ , тоді як кутове положення вершини польоту позначається δ . Відстань між краєм лопаті та віссю барабана в поперечному перерізі (тобто радіус кола, описаного вершиною лопаті) дорівнює R_0

4.2.1. Об'єм матеріалу на дні барабана

Матеріал всередині барабана є дисперсним матеріалом, який буде розглядатися як суцільне середовище.

Барабан частково заповнений матеріалом з кутом природного укосу $\gamma_f = a \tan(\mu)$,

де μ – кінематичний кут тертя.

Коефіцієнт наповнення барабану визначається як:

$$\chi = \frac{V_M}{\pi \cdot R^2 \cdot L} = \frac{S_M}{\pi \cdot R^2},$$

де V_M , S_M - відповідно об'єм, який займає матеріал, і площа поперечного перерізу матеріалу. Співвідношення між кутом β (. рис. 1) і χ визначається формулою:

$$\chi = \frac{1}{2\pi} (\beta - \sin \chi). \quad (4.1)$$

Максимальна висота матеріалу на дні барабана, виміряна перпендикулярно до поверхні матеріалу, становить

$$h_{mat} = R \left(1 - \cos \frac{\beta}{2} \right).$$

Існує три різні стани завантаження барабана, які можна спостерігати відповідно до положення лопаті, коли вона починає розвантажуватися [22,30]. Якщо лопать починає розвантажуватися, коли вона знаходиться у верхній половині барабана, це означає, що вона недостатньо завантажена. У цьому випадку час, проведений матеріалом у повітрі, значно скорочується. Було припущено, що сушарка працює в умовах недостатнього завантаження, коли люки не заповнені на повну потужність. Якщо навантаження на барабан збільшується, то лопать швидше починає розвантажуватись. Барабан буде розрахунково навантаженим, коли розвантаження лопаті починається при $\delta = 0$. У випадку розрахункового навантаження вважається, що кількість матеріалу в повітряній фазі є максимальною [22]. Якщо ступінь заповнення барабана збільшується, барабан буде перевантажений. Твердих частинок більше, ніж потрібно для повного заповнення лопаті. У такому випадку лопать починає розвантажуватись, коли вона відривається від шару матеріалу під кутом δ_0 . Тим не менш, обсяг матеріалу, що переноситься лопаттю, не

збільшується. Допускається, що коли $\delta < 0$, матеріал, що падає з лопаті, безпосередньо скочується на шар матеріалу і, отже, не сприяє кількості матеріалу в повітряній фазі. Ми припускаємо, що барабан працює або в умовах проектування, або в умовах перевантаження в тому сенсі, що політ завантажений на повну потужність (тобто $(R - R_0 \leq h_{mat})$). Завдяки обороту барабана лопаті проходять через шар матеріалу і завантажують певну кількість матеріалу. Лопать відривається від суцільного шару під кутом δ_0 , коли її кінець залишає шар матеріалу (рис.4.2.):

$$\delta_0 = - \left(\frac{\pi}{2} - \gamma_f - \arccos \left(\frac{R \cdot \cos \frac{\beta}{2}}{R_0} \right) \right). \quad (4.2)$$

Відповідне кутове положення польоту позначається $\Theta_0 = \Theta_{\delta = \delta_0}$. Завдяки попереднім міркуванням ми припускаємо, що лопать починає розряджатися та вивільняє матеріал у повітряній фазі, коли позиція кінця польоту $\delta = 0$. Відповідне значення Θ буде позначається $\Theta'_0 = \Theta_{\delta = 0}$.

4.2.2. Обсяг матеріалу в сегментних лопатях

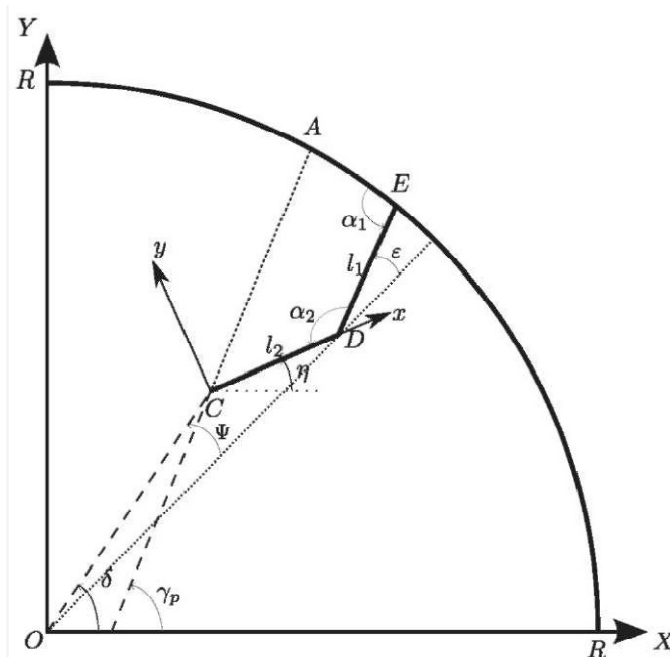


Рисунок 4.3 – Схема двох сегментної лопаті насадки

Лопать, зображена на рис. 4.3. складається з двох відрізків довжиною l_1 і l_2 . Перший сегмент утворює зі стінкою барабана кут α_1 . Кут між двома відрізками дорівнює α_2 . Відстань між краєм лопаті (точка С) і віссю циліндра (тобто радіус кола, описаного вершиною лопаті визначається [26]:

$$R_0 = \sqrt{R^2 + l_1^2 + l_2^2 + 2R \cdot (l_2 \cdot \sin(\alpha_1 + \alpha_2) - l_1 \cdot \sin \alpha_1) - 2l_1 \cdot l_2 \cos \alpha_2}. \quad (4.3)$$

Кутове положення вершини польоту дорівнює:

$$\delta = \Theta + \arcsin\left(-\frac{1}{R_0} \cdot l_2 \cdot \cos(\alpha_2 + \alpha_1) + l_1 \cdot \cos \alpha_1\right) \quad (4.4)$$

Об'єм матеріалу в лопатях є функцією як геометрії лопаті, так і її положення Θ , а також залежить від кута природного укусу матеріалу γ_f та коефіцієнта заповнення χ сушарки.

Динамічний кут природного укусу γ_p можна оцінити за допомогою:

$$\operatorname{tg} \gamma_p = \frac{\mu + R_0 \cdot \frac{w^2}{8} \cdot (\cos \delta - \mu \cdot \sin \delta)}{1 - R_0 \cdot \frac{w^2}{8} \cdot (\cos \delta - \mu \cdot \sin \delta)} \quad (4.5)$$

Рівняння (4.5) дійсне до числа Фруда $Fr = \frac{w^2 \cdot R}{8} = 0.4$.

Зміна між γ_p і γ_f є досить малою. На рис. 4.4 показано зміну γ_p/γ_f з δ для різних значень числа Фруда та α_2 . Значення Fr відповідають відповідно $w = 1$ об/хв та 4 об/хв для $R = 1.4$ м. На рис. 3 видно, що вплив α_2 на γ_p залишається досить малим, особливо для значення кутової швидкості, яке буде використано в цій роботі ($Fr = 0.00056$).

На рис 4.3 показана загальна система координат (прив'язана до осі обертання барабана) і місцева (початок відліку – крайня точка лопаті).

Координати точок D і E в місцевій системі координат виражаються так:

$$x_D = l_2; \quad y_D = 0 \quad (4.6)$$

$$x_E = x_D - l_1 \cdot \cos \alpha_2; \quad y_E = l_1 \cdot \sin \alpha_2 \quad (4.7)$$

Ці координати пов'язані з кутами δ і η таким чином відносини:

$$x_E = R \cdot \cos(\Theta - \eta) - R_0 \cdot \cos(\delta - \eta) \quad (4.8)$$

$$y_E = R \cdot \sin(\Theta - \eta) - R_0 \cdot \sin(\delta - \eta) \quad (4.9)$$

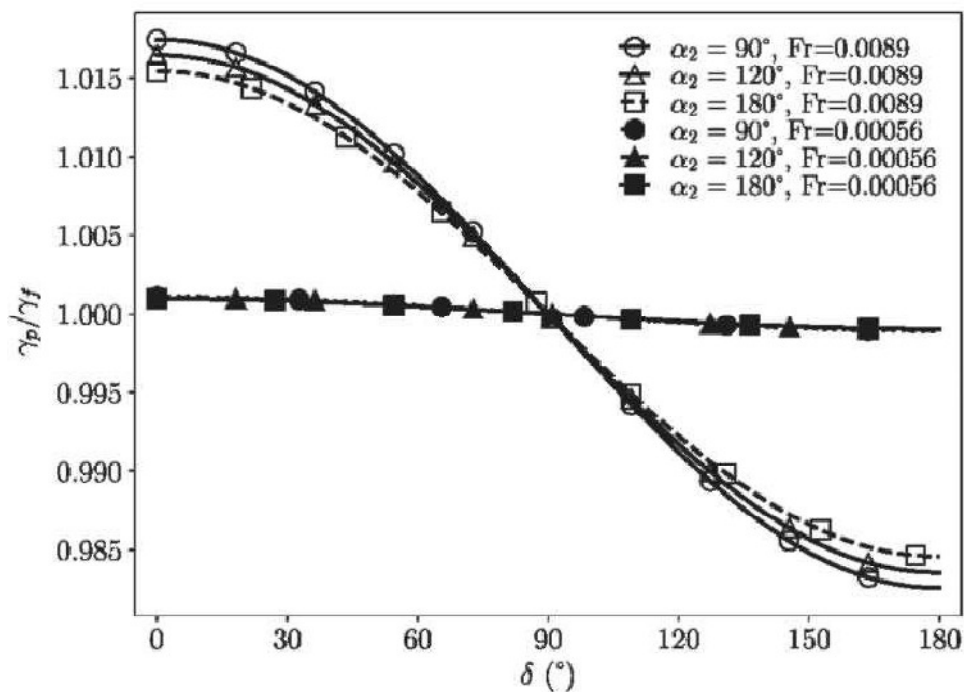


Рисунок 4.4. Залежність γ_p/γ_f від δ для різних α_2 , $\alpha_1 = 90^\circ$, $R/l_1 = 10$, $R = 1,4$ м, $l_2/l_1 = 1$ і $w = 1$ об/хв ($Fr = 0,00056$) і $w = 4$ об/хв ($Fr = 0,0089$).

Кут η між локальною та глобальною системами можна визначити, розв'язуючи рівняння (4.8) та (4.9). Положення поверхні матеріалу, що міститься в лопаті, визначається як $y = x \cdot \tan(\gamma_p - \eta)$. Щоб визначити об'єм матеріалу в лопаті, спочатку потрібно обчислити координати перетину поверхні матеріалу зі стінкою барабана або сегментом лопаті залежно від того, чи контактує матеріал зі стінкою барабана або з сегментом лопаті:

- матеріал контактує зі стінкою барабана, якщо $\gamma_p - \eta > \arctg\left(\frac{y_E}{x_E}\right)$.

Координати перетину знаходять розв'язуванням наступне рівняння

$$(X_A - X_C)^2 + (Y_A - Y_C)^2 = x_A^2 (1 + \operatorname{tg}^2(\gamma_p - \eta)) \quad (4.10)$$

звідки:

$$x_A = \frac{-B_A \pm \sqrt{B_A^2 - 4A_A \cdot C_A}}{2A_A} \quad (4.10)$$

де $A_A = 1 + \operatorname{tg}^2(\gamma_p - \eta)$,

$$B_A = 2X_C (\cos \eta - \operatorname{tg}(\gamma_p - \eta) \cdot \sin \eta) + 2Y_C (\operatorname{tg}(\gamma_p - \eta) \cdot \cos \eta + \sin \eta)$$

Серед цих двох рішень ми зберігаємо те, яке задовольняє:

$$y_A = x_A \operatorname{tg}(\gamma_p - \eta) > 0 \quad (4.12)$$

Площа поперечного перерізу, яку займає матеріал у лопаті, становить:

$$A_F = \frac{R^2}{2} (k - \sin k) + \frac{1}{2} (x_D y_E + y_A x_E - x_A y_E) \quad (4.13)$$

$$\text{де } k = 2 \arcsin \left(\frac{\sqrt{(x_E - x_A)^2 + (y_E - y_A)^2}}{2R} \right)$$

- матеріал контактує з першим сегментом DE в координатах x_1, y_1 ,

якщо $\gamma_p - \eta < \arctg\left(\frac{y_E}{x_E}\right)$ і $\sqrt{(x_1 - x_E)^2 + (y_1 - y_E)^2} < l_1$.

Якщо $\alpha_2 \neq \frac{\pi}{2}$ то

$$x_1 = \frac{-\operatorname{tg} \alpha_2 \cdot l_2}{\operatorname{tg}(\gamma_p - \eta) + \operatorname{tg} \alpha_2} \quad (4.14)$$

$$y_1 = -(x_1 - l_2) \cdot \operatorname{tg} \alpha_2 \quad (4.15)$$

Інакше, якщо $\alpha_2 = \frac{\pi}{2}$, координати перетину задаються як

$$x_1 = x_D = l_2 \quad \text{та} \quad y_1 = \operatorname{tg} (\gamma_p - \eta) \cdot x_D$$

Площа поперечного перерізу, яку займає матеріал буде:

$$A_F = \frac{1}{2} x_D \cdot y_1 \quad (4.16)$$

4.2.3. Максимальний кут розвантаження лопаті δ_{max}

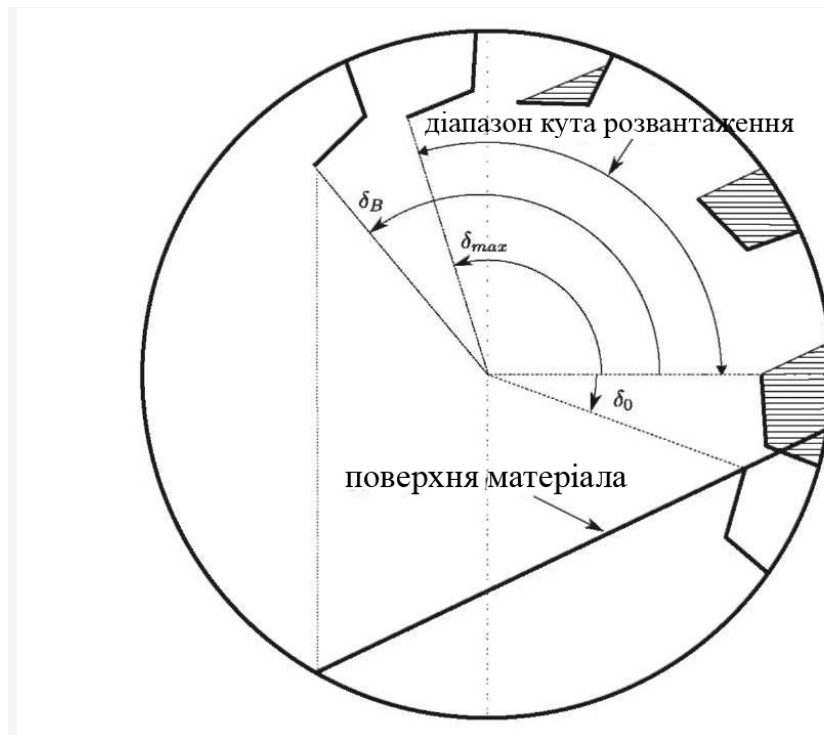


Рисунок 4.5. – Схема розміщення кутів δ_0 , δ_{max} та δ_B . Лопать виходить за поверхню матеріалу при $\delta = \delta_0$, вона починає розвантажуватись під кутом $\delta = 0$ і повністю розвантажиться під кутом δ_{max} , який може бути меншим або більшим за δ_B . Матеріал, що залишає лопать, може впливати на шар матеріалу на поверхні циліндра від кута $\delta = 0$ до $\delta \leq \delta_B$

4.2.4. Висота падіння матеріалу

Припускаючи вертикальне падіння матеріалу, можемо розрахувати висоту падіння твердого тіла, що виходить з лопаті, відповідно до кутового положення лопаті. Залежно від кутового положення δ , коефіцієнта заповнення барабана χ та кута природного укосу матеріалу γ_f , частинки, що залишають лопать, можуть падати на шар матеріалу на дні барабана, на стінку барабана або на іншу лопать. Вплив на інші лопаті здійснюється лише для великих значень кутів розвантаження і отже на малу кількість матеріалу, тому його проігноруємо.

Падаючий матеріал впливає на шар матеріалу для $0 < \delta \leq \delta_B$, де δ_B є максимальним кутом, під яким частинка дисперсного матеріалу, що покидає лопать, може впасти на шар матеріалу, розташований на дні барабана (рис 4.5.)

$$\delta_B = \pi - \arccos\left(\frac{R}{R_0} \sin\left(\frac{\beta}{2} - \gamma_f\right)\right) \quad (4.17)$$

Залежно від об'єму, що переноситься лопаттю, властивостей матеріалу та коефіцієнта заповнення барабана, важливо зазначити, що максимальний кут розвантаження лопаті δ_{max} може бути меншим або більшим за δ_B . Це означає, що для певних конфігурацій матеріал, що покидає лопать, взаємодіє лише з шаром матеріалу в нижній частині барабана. У цьому випадку ($0 < \delta < \min[\delta_B, \delta_{max}]$) і висота падіння матеріалу визначається як:

$$\begin{aligned} \frac{h_f}{R} &= \frac{R_0}{R} (\sin \delta - \cos \delta \cdot \operatorname{tg} \gamma_f) + \sin(\beta + \nu) + \cos(\beta + \nu) \cdot \operatorname{tg} \gamma_f = \\ &= \frac{\cos \frac{\beta}{2}}{\cos \gamma_f} + \frac{R_0}{R} (\sin \delta - \cos \delta \cdot \operatorname{tg} \gamma_f) \end{aligned} \quad (4.18)$$

Якщо $\delta > \delta_B$ і якщо лопать продовжує розвантажуватись, матеріал, що залишає рейку, взаємодіє з периферією барабана. У цьому випадку висота падіння становить:

$$\frac{h_f}{R} = \frac{R_0}{R} \sin \delta - \sqrt{1 - \left(\frac{R_0}{R}\right)^2 \cdot \cos^2 \delta} \quad (4.19)$$

4. 2.5. Максимальна кількість лопатей

Кількість лопатей у барабанній сушарці, як правило, має бути якомога більшою, щоб максимізувати затримку та максимально ефективно використовувати об'єм сушарки [26]. Для $\delta = 0$ відповідна лопать повністю завантажена, і матеріал контактує зі стінкою барабана в точці А. Максимальна кількість лопатей уздовж стінки барабана безпосередньо пов'язана з координатами (X_A, Y_A) цієї точки (рис. 4.6.).

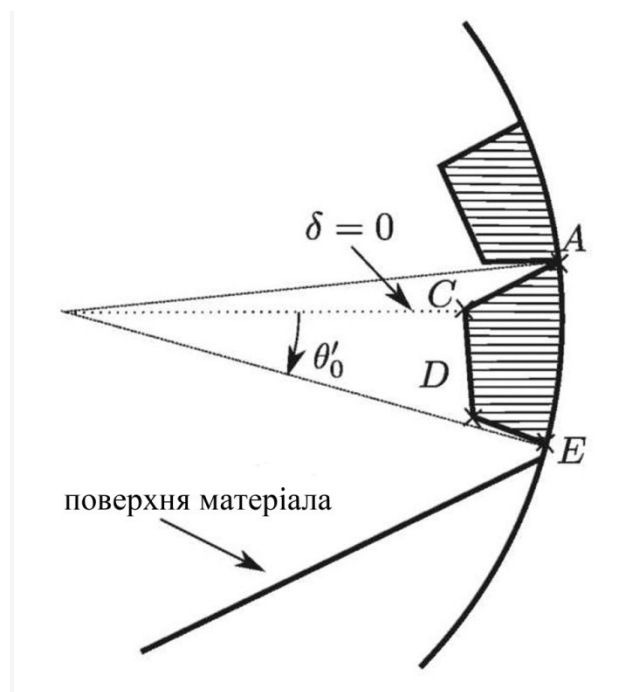


Рисунок 4.6 – Визначення оптимальної кількості лопатей.

Однак оптимальна кількість лопатей повинна гарантувати, що верхня поверхня матеріалу лопаті не повинен перехоплювати інші лопаті.

Таким чином, максимальну кількість лопатей $N_{f\ max}$ можна оцінити через [26]:

$$N_{f\ max} = \text{froof} \left(2\pi \left[\arctg \left(\frac{Y_A}{X_A} \right)_{\delta=\delta_0} - \min \left[\delta; \arctg \left(\frac{Y_D}{X_D} \right); \Theta \right]_{\delta=\delta_0} \right]^{-1} \right) \quad (4.20)$$

Хоча максимальну кількість лопатей $N_{f\ max}$ можна визначити за допомогою рівняння (4.20), кількість активних лопатей N_{fa} можна виразити як:

$$N_{fa} = N_{f\ max} \frac{\delta_{max}}{2\pi} \quad (4.21)$$

4. 3. Аналіз отриманих результатів

Ми розглянули вплив параметрів форми лопаті насадки на переміщення матеріалу, висоту підйому матеріалу максимальну та активну кількість елементів насадки, в цілому впливає на якість сушіння і продуктивність насадки.

4.3.1. Аналіз впливу конструктивних параметрів лопаті та коефіцієнту заповнення барабану на ступінь заповнення лопаті

Найпоширенішим випадком є прикріплення лопатей перпендикулярно до стінки барабану ($\alpha_1 = 90^\circ$). Залежність ступеня заповнення лопаті f_{Fi} від кута розвантаження δ при $l_2/l_1 = 1$, $R/l_1 = 10$, $R = 0,7$ м, $w = 1$ об/хв, $\mu = 0,5$ представлена на рис. 4.7.

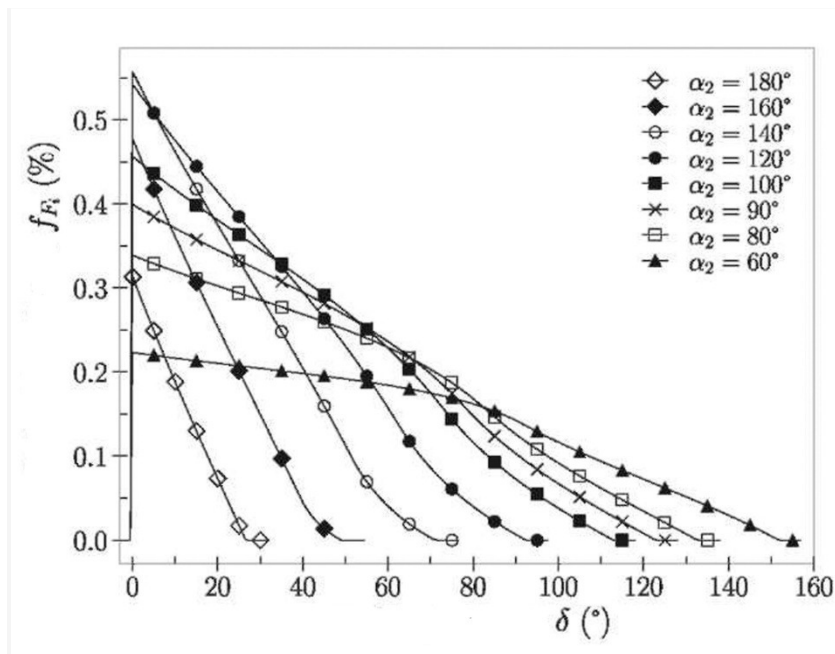


Рисунок 4.7. – Залежність ступеня заповнення лопаті від кута розвантаження δ для $l_2/l_1 = 1$, $R/l_1 = 10$, $R = 0,7$ м, $w = 1$ об/хв, $\mu = 0,5$, $\alpha_1 = 90^\circ$, при різних α_2 та $\chi = 10\%$

Значення f_{Fi} відкладено від кутового положення δ вершини лопаті. Очікувано, коли лопать розвантажується ступень заповнення f_{Fi} зменшується зі збільшенням δ .

На рис. 4.8 представлено максимальний ступінь наповнення $f_{Fi\max}$ як функцію α_2 від різних значень l_2/l_1 , $\chi = 10\%$, $R/l_1 = 10$ і $R = 0,7$ м.

Загалом можна спостерігати, що $f_{Fi\max}$ зростає з l_2/l_1 та α_2 , за винятком великих значень α_2 (більше 140°).

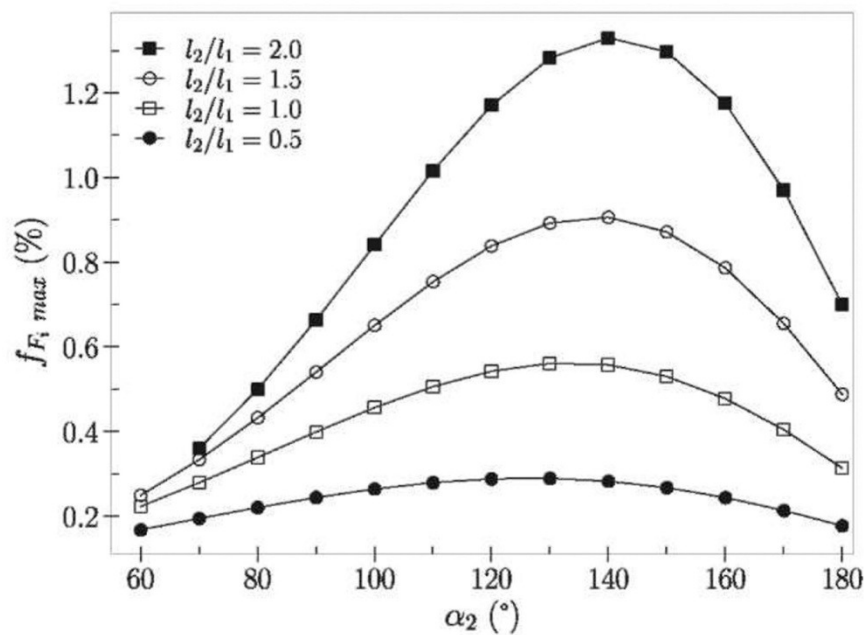


Рисунок 4.8 - Максимальний ступінь наповнення лопаті $f_{Fi\max}$ в залежності від α_2 , отриманий для різних l_2/l_1 , $R/l_1 = 10$ і $R = 1,4$ м, $w = 1$ об/хв, $\mu = 0,5$, $\alpha_1 = 90$ та $\chi = 10\%$.

Можна спостерігати, що максимальний ступінь наповнення лопаті досягається при куті α_2 в межах від 120° і 160° . Цей рисунок показує, також що кут α_2 , який забезпечує максимальний ступінь заповнення лопаті, має тенденцію до збільшення зі співвідношенням l_2/l_1 .

На рис. 4.9 видно, що кут δ_0 , при якому лопать відривається від поверхні матеріалу, зменшується зі збільшенням α_2 і збільшується зі зростанням коефіцієнту заповнення барабана χ .

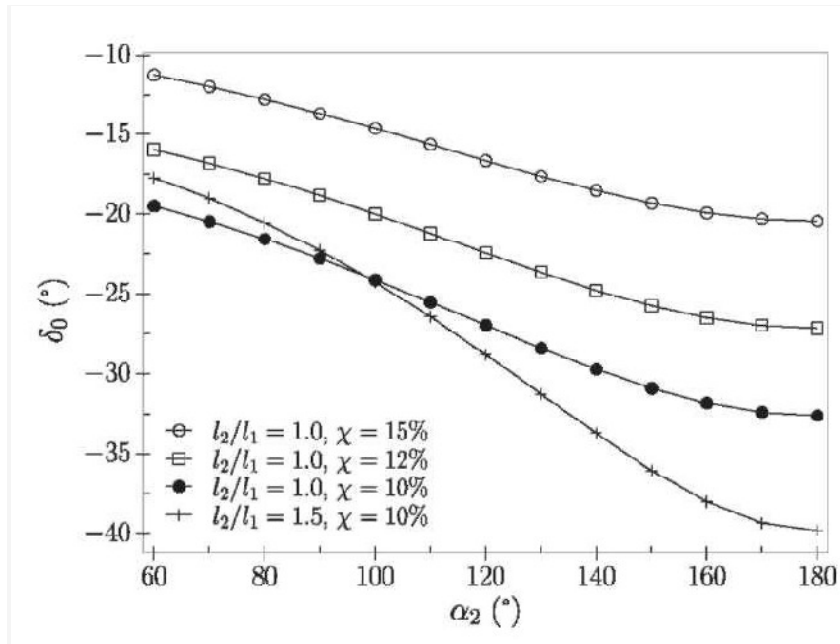


Рисунок 4.9. Зміна кута δ_0 , при якому лопать відривається від поверхні матеріалу залежно від α_2 для різних l_2/l_1 , $\alpha_1 = 90^\circ$ та різних χ з $R/l_1 = 10$, $R = 0,7$ м, $w = 1$ об/хв, $w = 1$.

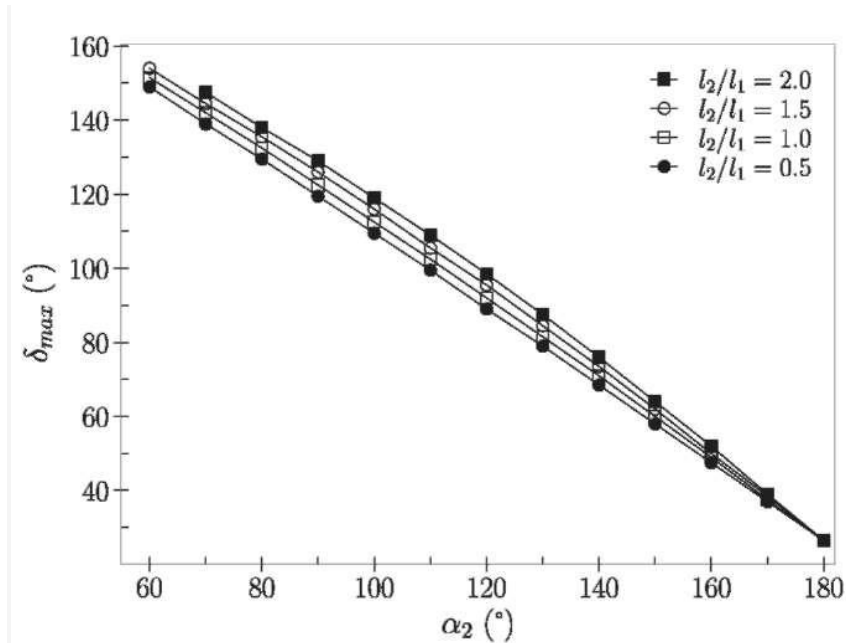


Рисунок 4.10. Максимальний кут розвантаження залежно від α_2 , для різних l_2/l_1 і для $\alpha_1 = 90^\circ$, $\chi = 10\%$, $R/l_1 = 10$, $R = 0,7$ м, $w = 1$ об/хв, $\mu = 0,5$.

4.3.2. Аналіз залежності висоти безрозмірної висоти падіння від кута розвантаження

Висота падіння частинок – це величина, від якої залежить продуктивність сушарки. Ступінь заповнення залежить від швидкості вивантаження матеріалу з лопаті, а також від висоти падіння, що визначається рівняннями. (4.20) або (4.21). Таким чином, він залежить від кута δ і коефіцієнта заповнення χ . Рис. 4.11 ілюструє зміну відносної висоти h_f/R від кута розвантаження δ для різних значень α_2 і коефіцієнта заповнення барабана χ . На рис. 16 видно, що висота падіння, очевидно, зі збільшенням кута розвантаження. Однак для випадку $\alpha_2 \leq 90^\circ$ висота падіння зменшується після досягнення максимуму, оскільки частки, що залишилися на цій стадії, вдаряються об стінку барабана замість шару матеріалу ($\delta_{max} > \delta_B$).

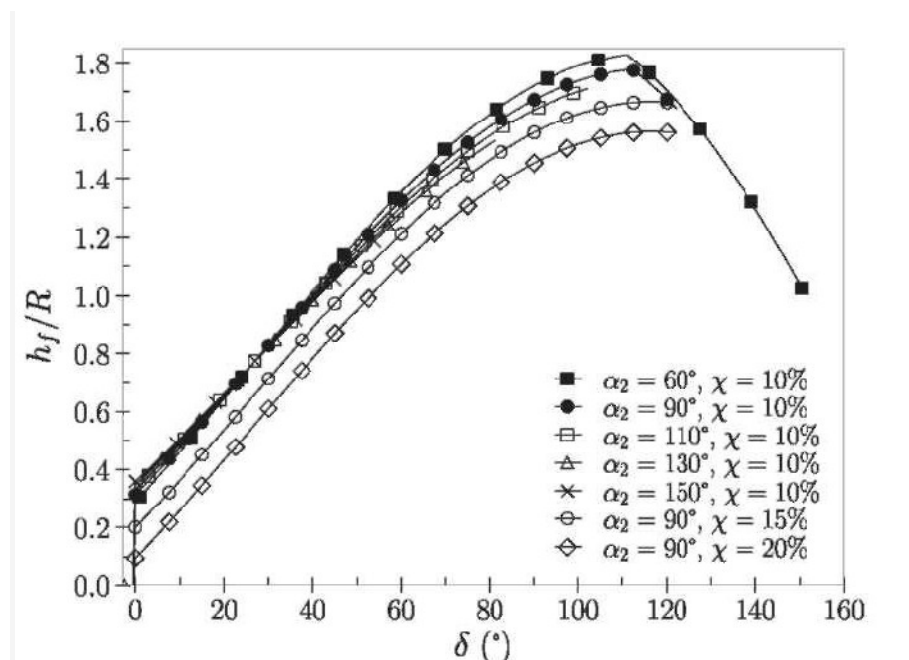


Рисунок 4.11. - Безрозмірна висота падіння $\frac{h_f}{R}$ з δ , отримана для $l_2/l_1 =$

1, $R/l_1 = 10$, $R = 0,7$, $w = 1$ об/хв, $\mu = 0,5$, $\alpha_1 = 90^\circ$ та різних α_2 і χ .

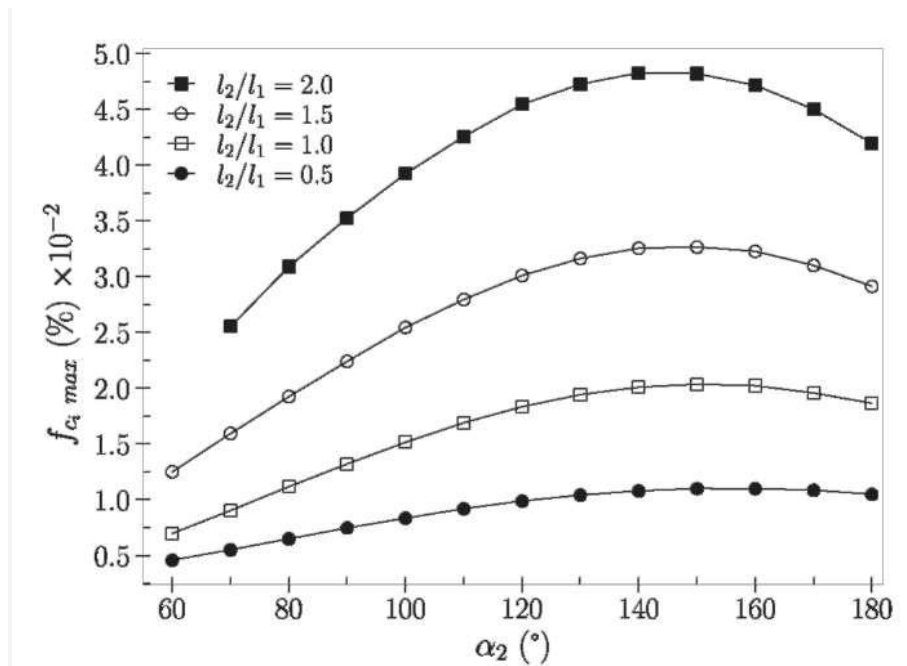


Рисунок 4.12 -. Максимальний ступінь заповнення лопаті залежно від α_2 , різних значень l_2/l_1 , $R/l_1 = 10$, $R = 0,7$ м, $w = 1$ об/хв, $\mu = 0,5$, $\alpha_1 = 90^\circ$

На рис. 4.12 показано зміну максимального ступеня заповнення лопаті для $\chi = 10\%$, $\alpha_1 = 90^\circ$, як функцію кута α_2 для різних співвідношень l_2/l_1 .

Він зростає з α_2 до оптимального значення α_2 (між 140° і 170° для досліджуваного діапазону l_2/l_1), а потім зменшується. Крім того, максимальний ступінь заповнення лопаті збільшується із співвідношенням l_2/l_1 , оскільки об'єм, що переноситься та виділяється польотами, також збільшується разом із цим співвідношенням.

4.3.3 Аналіз встановлених залежностей для кількості лопатей

Визначаємо максимальну кількість лопатей, які можна розподілити по периферії барабана для кожної конфігурації. На рис. 20 показано залежність кількості лопатей $N_{f, max}$, визначену рівнянням(24) від α_2 . З рисунку видно, що у діапазоні $110^\circ < \alpha_2 < 140^\circ$, $N_{f, max}$ не так сильно змінюється і має мінімум.

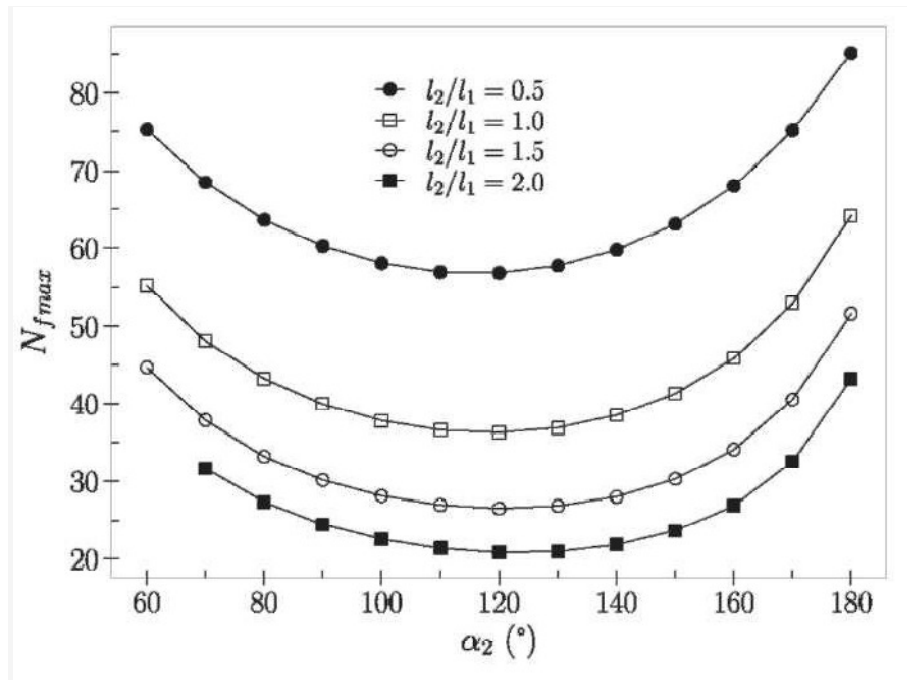


Рисунок 4. 12 - Максимальна кількість лопатей N_{fmax} в залежності від α_2 , для різних l_2/l_1 при $\alpha_1 = 90^\circ$, $\chi = 10\%$, $R/l_1 = 10$, $R = 0,7$ м, $w = 1$ об/хв., $\mu = 0,5$.

На рис. 4.13 представлено зміну кількості активних лопатей N_{fa} залежно від α_2 . Можна помітити, що N_{fa} зменшується зі збільшенням α_2 .

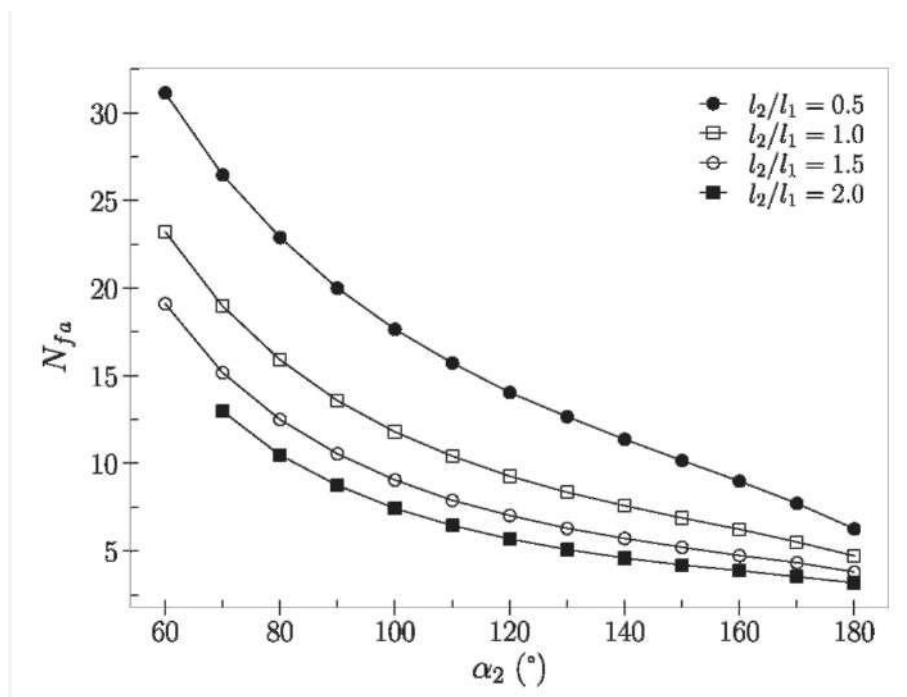


Рисунок 4. 13 - Кількість активних лопатей N_{fa} залежно від α_2 для різних l_2/l_1 при $\alpha_1 = 90^\circ$, $\chi = 10\%$, $R/l_1 = 10$, $R = 0,7$ м, $w = 1$ об/хв і $\mu = 0,5$

4.3.4. Аналіз впливу співвідношення розмірів барабана і лопаті

Кумулятивна безрозмірна площа перенесення матеріалу для всіх лопатей польотів і для одного оберту барабана ζ_{max} збільшується зі збільшенням R/l_1 і має максимум в діапазоні між $120^\circ < \alpha_2 < 140^\circ$. Тенденцію до зменшення з R/l_1 .

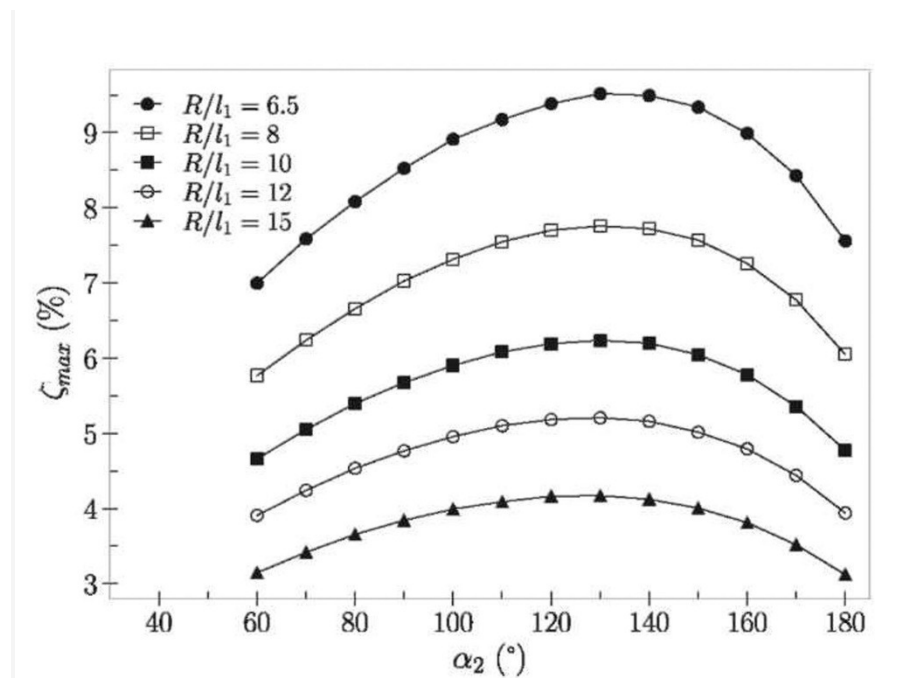


Рисунок 4.14. - Залежність кумулятивної безрозмірної площі перенесення матеріалу ζ_{max} від α_2 , для різного співвідношення розмірів R/l_1 для $R = 0,7$ м, $l_2/l_1 = 1$, $\mu = 0,5$, $w = 1$ об/хв, $\alpha_1 = 90^\circ$ і $\chi = 10\%$.

4.3.5. Узагальнення результатів

Розроблення геометричної моделі двосегментної лопаті і розрахунок за отриманими рівняннями дозволило отримати ряд залежностей між різними параметрами сушарки як конструктивними, так і технологічними. Як показав аналіз представлених вище графічних залежностей для забезпечення оптимального проведення сушіння зернового матеріалу у барабанній сушарці, вибирати співвідношення між параметрами потрібно лише після їх комплексного аналізу.

Проведене дослідження показало, що для якісного проведення процесу сушіння зернової сировини у якості насадки для сушильного барабана слід обрати двох сегментну підйомно-лопатову насадку з таким характеристиками:

співвідношення довжин елементів лопаті $l_2/l_1 = 1$,

співвідношення між розмірами барабана і лопаті $R/l_1 = 10$

кут між елементами лопаті $\alpha_2 = 120^\circ$,

кут кріплення до стінки барабана $\alpha_1 = 90^\circ$.,

кількість лопатей 24 шт.

Розміщуємо лопаті рівномірно по колу барабана в декілька рядів у шахматному порядку.

5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1. Охорона праці

Заходи з охорони праці у сушильному відділенні

До основних видів технологічного обладнання сушильного відділення відносяться: просіювач, сушарка, транспотери.

Основним фактором небезпеки при використанні просіювачів є велика імовірність виникнення нештатних ситуацій внаслідок накопичення значного заряду статичної електрики, а також загоряння і вибуху дрібного пилю в повітрі. Тому просіювач слід в обов'язковому порядку заземлити і забезпечити достатню вентиляцію для відведення повітря і завислих частинок. Елементи приводу просіювача слід закрити кожухами.

При роботі з просіювачем має місце обробка легко електризованих матеріалів, а отже обслуговуючий персонал може перебувати під впливом електростатичного поля (ЕП). Гранично припустима напруженість ЕП на робочому місці визначається нормами СН 1757- 77. Гранично припустима напруженість ЕП на робочому місці обслуговуючого персоналу не повинна перевищувати: при впливі до 1 год - 60 В/м, при впливі від 1 год до 9 год – з умови не більше 60 В/м.

Технологічні місткості повинні в першу чергу забезпечувати герметичність. Зростає імовірність падіння і отримання травм, а також ураження електричним струмом. Відкриті місткості слід розміщувати на висоті, яка б унеможливила випадкове падіння у них обслуговуючого персоналу. Рекомендується встановлення захисних огорож. Перед і після подачі продукту місткості слід обов'язково піддавати миттю.

При експлуатації транспортерів слід забезпечити відсутність фізичного контакту робітників з їх рухомими елементами, що досягається за рахунок встановлення огорож і захисних кожухів.

При експлуатації сушарки суттєву небезпеку становлять ситуації, пов'язані з тепловими опіками. Стандартами передбачається максимально допустима температура поверхонь, які є вільні для дотику, не більша від 50°C. З метою забезпечення нормальних умов праці пропонується застосовувати теплоізоляцію, яка б забезпечувала відсутність вільних умов дотику до нагрітих поверхонь. Для деяких випадків допускається застосування тканинних рукавиць (ГОСТ 12.4.020–82).

При роботі сушарки необхідно виконувати такі правила по техніці безпеки:

1. До роботи допускаються тільки особи, знайомі з принципом дії сушарки і відповідно проінструктовані;
2. Перед початком роботи необхідно переконатися в справності сушарки;
3. Чищення і змащування механізму при роботі сушарки категорично забороняється;
4. Забороняється працювати без огорожі ланцюгових і шестерних передач;
5. Категорично забороняється працювати без заземлення, сушарка повинна бути заземлена відповідно до діючих правил і норм;
6. При зупинці сушарки на довгий час або на час ремонту, а також на час перевірки електроустаткування піч необхідно відключити від мережі.

Технологічне обладнання й апаратура цеху повинні бути зовні пофарбовані фарбою світлих тонів (крім обладнання, виготовленого чи облицьованого нержавіючим матеріалом), не утримуючих шкідливих домішок. Фарбування посуду й інвентарю фарбами, що містять свинець, кадмій, хром не допускається.

Розміщення технологічного обладнання повинні здійснюється відповідно до технологічної схеми, забезпечувати потоковість технологічного процесу, короткі і прямі гідравлічні комунікації, виключати зустрічні потоки сировини і готової продукції.

При розміщенні обладнання повинні бути дотримані умови, що забезпечують вільний доступ працюючих до нього, проведення санітарного контролю за виробничими процесами, якістю сировини, напівфабрикатів і готової продукції, а також можливості мийки, збирання і дезінфекції приміщень і обладнання.

Усі частини, що стикаються з сировиною, повинні бути доступні для чищення, миття і дезінфекції.

При проектуванні і монтажі нового обладнання треба забезпечити: основні проходи в місцях постійного перебування працюючих шириною не менше 1,5 м; проходи біля віконних прорізів, доступних з рівня підлоги, або площадки - не менше 1 м; проходи для огляду і регулювання апаратів і приладів - не менше 0,8 м; проходи для огляду трубопроводів і апаратів, які не треба регулювати - не менше 0,7 м; ширина проходів між автоматичними і механізованими лініями (по їх осях) і головних проїздів - не менше 2,4 м. Розриви між окремими машинами, верстатами, ємкостями, розміщеними в одному ряду - не менше 0,35 м.

Освітлення виробничих приміщень повинне відповідати вимогам Сніп "Природне і штучне освітлення. Норми проектування" і "Санітарним вимогам до проектування підприємств переробної промисловості".

У виробничих приміщеннях найбільше прийнятно природне освітлення: світловий коефіцієнт (СК) повинний бути в межах 1:6 - 1:8. У побутових приміщеннях СК повинний бути не менше 1:10. Коефіцієнт природного освітлення (КЕО) повинний бути передбачений з урахуванням характеру праці і зорової напруги.

При недостатнім природному освітленні варто застосовувати штучне освітлення - переважно люмінесцентні лампи. У приміщеннях з важкими умовами чи праці не мають постійних робітників місць варто використовувати лампи накаливання.

Штучне освітлення повинне бути представлене загальним у всіх цехах і приміщеннях, а у виробничих при необхідності - місцевим чи комбінованим.

При розміщені стрічкових, роликкових та інших транспортерів треба передбачати проходи між стіною і однією поздовжньою стороною транспортера не менше 0,7 м, а між двома паралельно розміщеними транспортерами - не менше 0,9 м. При цьому з протилежної сторони транспортери при стрічці завширшки до 60 см можна встановлювати впритул до стіни, а при стрічці завширшки понад 60 см роблять розрив від стіни завширшки не менше 0,4 м; при наявності на транспортерах перекидних візків проходи збільшують з врахуванням виступаючої частини візка.

Одними з найбільш поширених на переробних підприємствах небезпечних ситуацій є ситуації, пов'язані з використанням обладнання, яке має рухомі елементи (так звані механічні небезпеки). До механічних відносять небезпечності, які можуть виникнути біля любого об'єкту, здатного спричинити травму в результаті неспровокованого контакту об'єкту або його частини з людиною. До таких небезпечних елементів на заводі в першу чергу відносяться ланцюгові та пасові передачі приводу технологічного обладнання, відкриті зубчаті передачі тощо. Ситуації, пов'язані з механічними небезпечностями нормуються ГОСТами 12.0.003–74, 12.0.002–80, 12.4.374–83 та ін.

Секції агрегатів повинні мати двері, які легко відчиняються, запобіжні прилади, що запобігають травматизму працівників і забезпечують свободу рухів і дій операторів. Для цього монтуються механізми фотоелектричного блокування, що у випадку виникнення перепон на шляху променя світла не дозволяє ввімкнути привід машини.

Найбільш дієвими в такому випадку запобіжними заходами є створення умов, коли небезпечна частина не є легкодоступною (наприклад, закривається кожухом чи кришкою), а також застосування кінцевих електричних контактних датчиків, які припиняють подачу струму у випадку відкриття або демонтажу запобіжної кришки чи кожуха.

Технологічне обладнання, апаратура, посуд, тара, інвентар, плівка і вироби з полімерних і інших синтетичних матеріалів, повинні бути

виготовлені з матеріалів, дозволених органами санепідемнагляду для контакту з харчовими продуктами.

Ванни, металевий посуд, спуски, лотки, жолоби і т.д. повинні мати гладкі, внутрішні поверхні, що очищаються легко, без щілин, зазорів, що виступають чи болтів заклепок, що утрудняють очищення. Варто уникати використання дерева й інших матеріалів, що погано миються і дезінфікуються.

5.2. Безпека у надзвичайних ситуаціях

Відповідно до Кодексу цивільного захисту України від 02.10.2012р. громадяни України мають право на захист свого життя і здоров'я від наслідків аварій, катастроф, стихійного лиха. Держава як гарант цього права створює систему цивільного захисту, яка повинна захистити населення від небезпечних наслідків аварій і катастроф техногенного, екологічного, природного та воєнного характеру. Цивільний захист України є державною системою органів управління силами і засобами, що створюються для організації забезпечення захисту населення від наслідків надзвичайних ситуацій (НС).

Цивільний захист на елеваторі організується з метою своєчасної підготовки об'єкта до захисту від наслідків НС та оперативного проведення рятувальних і інших невідкладних робіт.

На об'єктах підвищеної небезпеки (радіаційно-, хімічно-, вибухонебезпечних) створюються локальні системи виявлення загрози виникнення НС і оповіщення працівників цих об'єктів та місцевого населення, що проживає в зоні можливого ураження (згідно з законом України "Про цивільну оборону України" власники таких об'єктів відповідають за захист населення, що проживає в зонах можливого ураження від наслідків аварій на цих об'єктах). Відповідно до затвердженої Державної цільової соціальної програми розвитку цивільного захисту на 2009-2013 роки, вищеназвані локальні системи мають бути створені до 2013 року на всіх об'єктах підвищеної небезпеки.

Відповідальність за цивільний захист об'єкта несе керівник цього об'єкта, він є начальником ЦЗ об'єкта і підпорядковується своєму старшому начальнику (міністерства чи відомства), а в оперативному відношенні начальнику цивільного захисту міста чи району.

Начальник цивільного захисту об'єкта несе відповідальність за:

- створення, організацію, підготовку і дієздатність системи цивільного захисту на підпорядкованому об'єкті;
- забезпечення захисту персоналу (а на об'єктах підвищеної небезпеки і за захист населення, що проживає в зонах можливого ураження від наслідків аварій на цих об'єктах) під час загрози або виникнення надзвичайних ситуацій техногенного, природного та воєнного характеру;
- організацію і здійснення заходів щодо попередження НС, а у разі їх виникнення – за мінімізацію збитків від них;
- створення і організацію роботи системи оповіщення на об'єкті;
- створення і організацію роботи комісії з питань техногенно-екологічної безпеки та надзвичайних ситуацій, а також евакуаційної комісії об'єкта;
- постійну готовність органів управління і невоєнізованих формувань об'єкта до функціонування в мирний і воєнний час;
- фінансове та матеріально-технічне забезпечення заходів у сфері цивільного захисту;
- підготовку і навчання персоналу до дій у НС.

Наказом начальника ЦЗ об'єкта призначаються заступники (як варіант – з евакуації, інженерно-технічної частини, з матеріально-технічного постачання, з оперативних питань).

Органом управління з питань надзвичайних ситуацій та цивільного захисту об'єкта є штаб цивільної оборони та надзвичайних ситуацій (штаб ЦЗ та НС) (далі – штаб ЦЗ).

Штаб ЦЗ очолює начальник штабу, який є першим заступником начальника ЦЗ об'єкта. До складу штабу входять заступники начальника штабу і необхідні спеціалісти. Штаб комплектується як штатними працівниками ЦЗ об'єкта так і посадовими особами підприємства, не звільненими від виконання своїх основних обов'язків.

Начальник штабу ЦЗ відповідає за безпосередню організацію та функціонування сил і засобів цивільного захисту під час загрози або

виникнення надзвичайних ситуацій техногенного, природного та воєнного характеру. Він має право віддавати розпорядження з питань цивільної оборони, захисту від НС техногенного, природного та воєнного характеру від імені начальника цивільного захисту об'єкту.

Начальник штабу ЦЗ несе відповідальність за:

- організацію своєчасного оповіщення і збору персоналу об'єкта;
- організацію роботи і узгодженість дій створених на об'єкті органів управління і структурних підрозділів цивільного захисту;
- розробку планової документації з питань цивільного захисту, її своєчасне уточнення і коригування;
- стан готовності особового складу невоєнізованих формувань цивільного захисту до дій за призначенням;
- своєчасне доведення до виконавців рішень начальника цивільного захисту та організацію контролю за їх виконанням;
- організацію збору і аналізу інформації щодо вірогідного виникнення надзвичайних ситуацій, відпрацювання пропозицій щодо захисту персоналу (а на об'єкті підвищеної небезпеки і населення, що проживає в зоні можливого ураження від наслідків аварії на цьому об'єкті) від їх наслідків;
- виконання заходів, спрямованих на підвищення стійкості роботи об'єкта в воєнний час та при виникненні надзвичайної ситуації техногенного або природного характеру;
- організацію взаємодії з місцевими органами державної влади, підрозділами МНС України, аварійно-рятувальними службами тощо;
- організацію спеціальної підготовки і підвищення кваліфікації персоналу у сфері цивільної оборони, захисту від надзвичайних ситуацій.

Обов'язки начальника ЦЗ об'єкта у режимі повсякденної діяльності:

- знати вимоги законодавчих і нормативно-правових актів держави у сфері захисту персоналу (а на об'єкті підвищеної небезпеки і населення, що проживає в зоні можливого ураження від наслідків аварії на цьому об'єкті) від надзвичайних ситуацій техногенного, природного та воєнного характеру;

- постійно удосконалювати особисту підготовку;
- спланувати і забезпечити здійснення відповідних заходів щодо захисту працівників усіх структурних підрозділів об'єкта (а на об'єкті підвищеної небезпеки і населення, що проживає в зоні можливого ураження від наслідків аварії на цьому об'єкті) і навколишнього природного середовища під час виникнення НС;
- організувати підготовку і навчання персоналу з питань ЦЗ, дій під час загрози або виникнення надзвичайних ситуацій техногенного, природного чи воєнного характеру;
- забезпечити готовність до використання за призначенням органів управління, сил і засобів цивільного захисту щодо попередження і ліквідації надзвичайних ситуацій техногенного, природного та воєнного характеру;
- організувати розробку і своєчасне коригування плану дій органів управління та сил цивільного захисту щодо попередження та ліквідації наслідків НС у мирний та воєнний час.
- керувати плануванням та здійсненням евакозаходів на випадок надзвичайних ситуацій як мирного, так і воєнного часу;
- забезпечити весь персонал об'єкта засобами індивідуального і колективного захисту, іншим майном цивільного захисту;
- впроваджувати нові методи прогнозування, оцінки обстановки, розрахунків сил і засобів, прийняття і реалізації рішення з використанням комп'ютерної техніки із сучасним програмним забезпеченням при моделюванні і виникненні надзвичайних ситуацій на об'єкті;
- організувати забезпечення структурних підрозділів об'єкта сучасними засобами оповіщення і зв'язку;
- створити і підтримувати в належному стані матеріальні і фінансові резерви для забезпечення діяльності органів управління і сил цивільного захисту при виникненні надзвичайних ситуацій техногенного, природного та воєнного характеру.

Обов'язки начальника ЦЗ об'єкта у режимі підвищеної готовності:

– здійснити прогнозування і моделювання обстановки, що склалася, при можливості – з використанням програмного забезпечення, відп-ра-цювати пропозиції щодо нормалізації ситуації;

– перевірити стан системи оповіщення і збору керівного складу, органів управління цивільного захисту персоналу об'єкта (а на об'єкті підвищеної небезпеки і населення, що проживає в зоні можливого ураження від наслідків аварії на цьому об'єкті);

– встановити постійний зв'язок і взаємне інфо-рмування про ситуацію, що склалася, з місце-вими органами державної влади, підрозділами МНС України, аварійно-рятуваль-ними служба-ми тощо;

– організувати спостереження і контроль за станом навколишнього середовища і прилеглої до об'єкта території;

– при виникненні НС, що загрожує життю і здоров'ю персоналу і підопічних об'єкта, здійс-нити їх екстренну евакуацію в безпечний район;

– вжити заходів щодо захисту навколишнього середовища і підвищення сталості функціону-вання об'єкта;

– привести органи управління і невоєнізовані формування цивільного захисту (НФЦЗ) у стан готовності до використання за призначенням;

– організувати перевірку служб життєзабез-печення об'єкта, їх готовності до дій відповідно до обстановки, що прогнозується;

– доповісти про обстановку і проведені заходи вищестоящому керівництву.

Обов'язки начальника ЦЗ об'єкта у *режимі надзвичайної ситуації*.

1. Усвідомити й оцінити обстановку, прийняти відповідні оперативні рішення, поставити завдання голові комісії з питань ТЕБ та НС, керівникам інших органів управління та невоєнізованих формувань цивільного захисту:

– на забезпечення своєчасного оповіщення персоналу об'єкта (а на об'єкті підвищеної небезпеки і населення, що проживає в зоні можливого ураження від наслідків аварії на цьому об'єкті);

– на організацію дій НФЦЗ об'єкта щодо локалізації і ліквідації НС;

- на проведення рятувальних та інших невідкладних робіт;
- на організацію меддопомоги постраждалим і евакуацію їх у лікувальні заклади;
- на забезпечення контролю за заходами безпеки при веденні рятувальних, аварійно-відновлювальних та інших невідкладних робіт;
- на забезпечення безперервного керування заходами щодо ліквідації наслідків надзвичайної ситуації;
- на організацію своєчасного коригування планів дій щодо ліквідації наслідків НС;
- на організацію спостереження за станом навколишнього середовища і джерелом небезпеки;
- на евакуацію персоналу у безпечні райони.

2. Доповісти вищестоящому керівництву про місце, час, причину, вид НС, завдані збитки, наслідки, вжиті заходи.

Обов'язки начальника штабу ЦЗ об'єкта у режимі повсякденної діяльності:

- забезпечити готовність систем зв'язку та оповіщення;
- забезпечити підготовку органів управління та невоєнізованих формувань цивільного захисту (НФЦЗ) до дій за призначенням;
- керувати розробкою плану цивільного захисту від надзвичайних ситуацій мирного та воєнного часу;
- спланувати та організувати здійснення підготовки та підвищення кваліфікації персоналу об'єкта з питань цивільного захисту від НС мирного та воєнного часу;
- приймати участь у діяльності комісії з питань ТЕБ та НС і евакуаційної комісії об'єкта;
- забезпечити розробку і виконання організаційних, фінансових, інженерно-технічних заходів щодо підвищення стійкості роботи об'єкта за умовами надзвичайних ситуацій мирного та воєнного часу;
- своєчасно подавати передбачені звіти, донесення та інші документи;

– удосконалювати навчально-матеріальну базу з питань цивільного захисту.

Обов'язки начальника штабу ЦЗ об'єкта у *режимі підвищеної готовності*:

– забезпечити дублювання одержаного сигналу оповіщення або інформації про загрозу чи виникнення НС і доведення їх до керівництва, невоєнізованих формувань цивільного захисту, усього персоналу об'єкта (а на об'єкті підвищеної небезпеки і населення, що проживає в зоні можливого ураження від наслідків аварії на цьому об'єкті);

– організувати збір і аналіз інформації про ситуацію, що склалася та підготувати проект відповідного рішення начальника цивільного захисту;

– забезпечити збір і початок роботи комісії з питань ТЕБ та НС, інших створених органів упорядкування цивільного захисту;

– запровадити на об'єкті цілодобове оперативне чергування;

– започаткувати виконання розділу плану, що стосується дій при загрозі виникнення надзвичайних ситуацій техногенного, природного або воєнного характеру;

– здійснити підготовчі заходи щодо захисту персоналу об'єкта (а на об'єкті підвищеної небезпеки і населення, що проживає в зоні можливого ураження від наслідків аварії на цьому об'єкті);

– забезпечити доведення розпоряджень начальника цивільного захисту, органів управління цивільного захисту до виконавців;

– проконтролювати виконання заходів, передбачених календарним планом дій при виникненні надзвичайних ситуацій техногенного, природного та воєнного характеру;

– забезпечити своєчасне подання відповідних звітів і донесень до вищого керівництва.

Обов'язки начальника штабу ЦЗ об'єкта у *режимі надзвичайної ситуації*.

– забезпечити негайне доведення отриманого сигналу оповіщення чи інформації про виникнення надзвичайної ситуації до керівництва, невоєнізованих формувань цивільного захисту, усього персоналу об'єкта (а

на об'єкті підвищеної небезпеки і населення, що проживає в зоні можливого ураження від наслідків аварії на цьому об'єкті);

- прийняти негайні заходи щодо захисту персоналу (а на об'єкті підвищеної небезпеки і населення, що проживає в зоні можливого ураження від наслідків аварії на цьому об'єкті) об'єкта;

- організувати здійснення рятувальних, аварійно-відновлювальних та інших невідкладних робіт;

- забезпечити функціонування за призначенням органів управління та невоєнізованих формувань цивільного захисту;

- організувати практичне виконання плану ліквідації надзвичайних ситуацій техногенного, природного чи воєнного характеру та їх наслідків;

- приймати участь у діяльності комісії з питань ТЕБ та НС і евакуаційної комісії об'єкта;

- забезпечити розробку наказів, розпоряджень і вказівок начальника цивільного захисту та органів управління цивільного захисту;

- забезпечити своєчасне подання відповідних звітів і донесень до вищестоящого керівництва.

На елеваторі для організації і проведення заходів захисту від НС на базі відповідних структурних підрозділів (відділів, цехів тощо) об'єкта, в залежності від характеру його виробничої діяльності створюються служби цивільного захисту:

- оповіщення і зв'язку;

- протипожежна;

- аварійно-технічна;

- сховищ і укриттів;

- медична;

- охорони громадського порядку;

- протирадіаційного та протихімічного захисту;

- харчування та торгівлі;

- автотранспортна;

– матеріально-технічного постачання та інші.

Вказані в розділі способи і засоби захисту повинні впроваджуватись на всіх переробних підприємствах з урахуванням характеру небезпечностей для забезпечення надійності роботи підприємств в умовах надзвичайних ситуацій.

ВИСНОВКИ

Кваліфікаційна робота присвячена дослідженню конструкції барабана сушарки для обробки зернової сировини. У результаті проведених досліджень встановлено, що якість і ефективність обробки зернової сировини суттєво залежать від конструктивного оформлення сушильного барабану і насадки яка в ньому використовується. Для встановлення оптимальних співвідношень між різними елементами сушильного барабана була розроблена його геометрична модель, проведений математичний опис співвідношень між параметрами, побудовані графічні залежності та запропоновані зміни конструктивних параметрів сушильного барабана.

Запропоновано в сушильному барабану встановити двох сегментну підйомно-лопатову насадку з такими характеристиками:

співвідношення між розмірами барабана і лопаті $R/l_1 = 10$

співвідношення довжин елементів лопаті $l_2/l_1 = 1$,

кут між елементами лопаті $\alpha_2 = 120^\circ$,

кут кріплення до стінки барабана $\alpha_1 = 90^\circ$.,

кількість лопатей по колу барабана -24 шт,

кількість рядів -15.

Отримаємо такі розміри: $R=0.7$ м, $l_1=70$ мм, $l_2=70$ мм, $b=0,5$ м.

В роботі проведені необхідні технологічні, інженерні розрахунки.. Запропоновані заходи з модернізації дозволять покращити якість обробки зернової сировини у барабанній сушарці СБ-1,4, зменшать енерговитрати на процес, підвищать якість отриманої продукції

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Особливості збирання і зберігання зібраного врожаю з підвищеною вологістю зерна. веб-сайт. URL: <https://www.cherk-consumer.gov.ua/novyny/339-osoblyvosti-zbyrannia-i-zberihannia-zibranoho-vrozhaiu-z-pidvyshchenoiu-volohistiu-zerna> (дата звернення: 20.10.2023).
2. Вологість зерна пшениці. веб-сайт. URL: <https://labtehservis.com/ua/a343027-vlazhnost-zerna-pshenitsy.html> (дата звернення: 20.10.2023).
3. Закалов О.В. Дипломне проектування технологічного обладнання переробних і харчових виробництв. Навчальний посібник. / Закалов О.В., Ворощук В.Я. Тернопіль, ТНТУ ім. І. Пулюя, 2011. 350 с.
4. Поперечний А.М. Процеси та апарати харчових виробництв / Поперечний А.М., Черевко О.І., Гаркуша В.Б., Кирпиченко Н.В.-К.: ЦУЛ, 2007. 304 с.
5. Обладнання підприємств переробної та харчової промисловості. / За ред. І.С. Гулого Вінниця: Нова книга, 2001 р. 576 с.
6. Мирончук В.Г. Розрахунки обладнання підприємств переробної і харчової промисловості; навчальний посібник / Мирончук В.Г., Орлов Р.О., Українець А.І. та ін..-Вінниця: Нова книга, 2004.-288 с.
7. Хомик Н.І. Деталі машин. Курс лекцій для студентів заочної форми навчання. / Н.І. Хомик, А.Д. Довбуш., О.П. Цьонь. Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2016. 160 с.
8. Хомик Н.І. Технологія виробництва і переробки сільськогосподарської продукції: курс лекцій / Н.І. Хомик, Н.Б. Гаврон, Н.А. Рубінець. Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2016. 248 с.
9. Цивільна оборона та цивільний захист: Підручник. — 2-ге вид., перероб. Затверджено МОН / Стеблюк М.І. — К., 2010. — 487 с.

10. Васійчук В.О. Основи цивільного захисту. Навч. посібник / В.О. Васійчук, В.Є Гончарук, С.І. Качан, С.М. Мохняк. - Львів: Видавництво НУ "ЛП", 2010. - 417с.
11. Бедрій І.Я., Нечай В.Я. Безпека життєдіяльності. Навчальний посібник. 2006, 2007. 499 с.
12. Грибан В.Г., Негодченко О.В. Охорона праці. К.: Центр учбової літератури, 2009. 209 с.
13. Желібо Є.П., Зацарний В.В. Безпека життєдіяльності. Підручник. 2009.
14. Методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної та заочної (дистанційної) форм навчання «БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ» / В.С. Стручок Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 156 с.
15. Техноекологія та цивільна безпека. Частина «Цивільна безпека». Навчальний посібник / В.С. Стручок, Тернопіль: ТНТУ ім. І.Пулюя, 2022. 150 с.
16. Васійчук В.О., Гончарук В.Є., Качан С.І., Мохняк С.М. Основи цивільного захисту. 2010. 418с.
17. Фесенко А. В. Підвищення ефективності технологічного процесу сушки зернових культур: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.05.11 / А. В. Фесенко. Луганськ, 2006. 13 с.
18. Калініченко Р. А. Енергозберігаючі режими сушіння і активного вентилявання зерна при зберіганні в умовах господарств: дис. ... кан. тех. наук: 05.09.16 / Р. А. Калініченко. К., 2005. – 215 с.
19. M. Hellou, F. Lominje, I. Benhsine, Y. Roques, Theoretical description of the motion of a particle in rotary dryer, Can. J. Chem. Eng. 97 (2019) 103–114.
20. D.R. Van, Puyvelde, Modelling the hold up of lifters in rotary dryers, Chem. Eng. Res. Des. 87 (2) (2009) 226–232.
21. K.R. Sunkara, F. Herz, E. Specht, J. Mellmann, Influence of flight design on the particle distribution of a flighted rotating drum, Chem. Eng. Sci. 90 (2013) 101–109.

22. M.H. Lisboa, D.S. Vitorino, W.B. Delaiba, J.R.D. Finzer, M.A.S. Barrozo, A study of particle motion in rotary dryer, Brazil. J. Chem. Eng. 24 (03) (2007) 365–374.
23. A.S.B. Njeng, S. Vitu, M. Clause, J.L. Dirion, M. Debaq, Effect of lifter shape and operating parameters on the flow of materials in a pilot rotary kiln: part I experimental RTD and axial dispersion study, Powder Technol. 269 (2014) 554–565.
24. M. Kwapinska, G. Saage, E. Tsotsas, Continuous versus discrete modelling of heat transfer to agitated beds, Powder Technol. 181 (3) (2008) 331–342.
25. D. Revol, C.L. Briens, J.M. Chabagno, The design of flights in rotary dryers, Powder Technol. 121 (2001) 230–238.
26. Franck Lominre, Mustapha Hellou, Yves Roques An analysis of optimal segmented flight design in a rotary dryer, Powder Technology 407 (2022) 117594 веб-сайт. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032591022004880> (дата звернення: 20.10.2023).
27. A. Lee, M.E. Sheehan, Development of a geometric flight unloading model for flighted rotary dryers, Powder Technol. 198 (3) (2010) 395–403.
28. K.R. Sunkara, F. Herz, E. Specht, J. Mellmann, R. Erpelding, Modeling the discharge characteristics of rectangular flights in a flighted rotary drum, Powder Technol. 234 (2013) 107–116.

ДОДАТКИ

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя (Україна)
Університет імені П'єра і Марії Кюрі (Франція)
Маріборський університет (Словенія)
Технічний університет у Кошице (Словаччина)
Вільнюський технічний університет ім. Гедимінаса (Литва)
Міжнародний університет цивільної авіації (Марокко)
Наукове товариство ім. Т.Шевченка

АКТУАЛЬНІ ЗАДАЧІ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Збірник
тез доповідей

**XII Міжнародної науково-практичної
конференції молодих учених та студентів**
6-7 грудня 2023 року



УКРАЇНА
ТЕРНОПІЛЬ – 2023

УДК 664

П. М. Чорний, Я. В. Фриз, Н. М. Зварич, к.т.н., доц.

(Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна)

ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ВИРОБНИЦТВА ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

P. M. Chorny, Ya. V. Fryz, N. M. Zvarych, Ph.D, Assoc. Prof

WAYS OF INCREASING THE ENERGY EFFICIENCY OF FOOD PRODUCTION

Питання енергетичної безпеки України, а також і країн Європи значно загострилося після повномасштабного вторгнення росії в Україну в лютому 2022 року. Війна також показала наскільки тісно пов'язані світові продовольчі та енергетичні ланцюги [1]. Зростання цін на енергоносії та ресурси, що впливає на всіх: від постачальників сировини до виробників упаковки, постачальників логістичних послуг і роздрібних торговців, підтвердило важливість енергоефективних рішень у переробних виробництвах. Для багатьох процесів виробництва харчових продуктів, таких як пастеризація, стерилізація, сушіння, випарювання, ректифікація тощо характерним є високе споживання енергії через використання тепла. Однак на кількість необхідної енергії може суттєво впливати використовуване обладнання [1, 2, 3]. Через енергоємність цих процесів енергія (газ, електрика чи інше паливо) зазвичай становить найбільші експлуатаційні витрати, тобто енергоефективність є ключовим фактором при виборі обладнання. Різниця в тепловій ефективності технологічного обладнання на 5-10% швидко призведе до прямої економії енергії або поточних витрат.

Для підвищення енергоефективності харчових виробництв можна використовувати різні методи [2]: рекуперація відхідного тепла, нові термодинамічні цикли (теплові насоси, нові холодильні цикли, теплові труби, гібридні системи опалення), застосування нетермічних процесів харчового виробництва (опромінення їжі, імпульсні електричні поля, обробка під високим тиском, мембранні технології), використання нових методи нагрівання (інфрачервоне, мікрохвильове та радіочастотне нагрівання, омичне нагрівання). Важливим напрямом підвищення енергоефективності харчових виробництв є утилізація відходів при переробці харчової сировини (відходи на енергію).

Отримання кінцевого продукту у харчовій промисловості характеризується поєднанням декількох процесів перетворення сировини з використанням відповідного технологічного обладнання. У результаті чого потрібно поєднувати кілька методів енергоефективності (для різних технологічних машин і обладнання), зосереджених на одному або кількох процесах для зменшення споживання енергії. У багатьох випадках енергоефективність може навіть підвищити якість кінцевих продуктів, враховуючи моніторинг зовнішніх умов. У такому випадку ефективним є використання технологій SMART виробництва та індустрії 4.0.

Література

1. Energy Efficient Food Processing Solutions: веб-сайт. URL: <https://fluidhandlingpro.com/beverage-industry/energy-efficient-food-processing-solutions/> (дата звернення: 29.11.2023).
2. Review of Energy Efficiency Technologies in the Food Industry: Trends, Barriers, and Opportunities: веб-сайт. URL: https://www.researchgate.net/publication/339751580_Review_of_Energy_Efficiency_Technologies_in_the_Food_Industry_Trends_Barriers_and_Opportunities (дата звернення: 29.11.2023).
3. Energy Efficient Equipment: веб-сайт. URL: <https://www.food-management.com/archive/energy-efficient-equipment> (дата звернення: 30.11.2023).

12.	М. А. Тримбашевський, Т. П. Друк АНАЛІЗ КОНСТРУКТИВНИХ РІШЕНЬ ДЛЯ ЗАМІШУВАННЯ ТІСТА	281
13.	М. С. Маракін, Д. Р. Гавліч ФОРМУВАННЯ ЯКОСТІ БОРОШНА В ПРОЦЕСІ ВИРОБНИЦТВА	283
14.	М. І. Шпікула ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ФРЕЗЕРУВАННЯ МОРОЗИВА	284
15.	Р. В. Береговий, Н. М. Кость, М. М. Череватий, О. І. Бакалець МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ БІЛКІВ МОЛОКА	285
16.	М. А. Стадницький, В. І. Кравець ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ГОМОГЕНІЗАТОРА КЛАПАННОГО ТИПУ	286
17.	Р. Г. Погайдак; В. І. Кравець; О. І. Кравець ЗМІНА РОЗМІРІВ ЧАСТОК КАЗЕЇНУ В ПРОЦЕСІ ЙОГО СУШІННЯ В УСТАНОВЦІ ІЗ ПСЕВДО ЗРІДЖЕНИМ ШАРОМ	287
18.	С. І. Саварин, В. І. Саварин, Р. М. Варениця ПІДХОДИ ДО КОНСТРУЮВАННЯ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ МАШИН	288
19.	А. В. Деркач ВИКОРИСТАННЯ НАДЛИШКОВОГО ТЕПЛА В ХАРЧОВІЙ ГАЛУЗІ	289
20.	В. О. Пастушенчин, Л. А. Сторож ВИКОРИСТАННЯ ТОПІНАМБУРА В ТЕХНОЛОГІЇ СИРКОВИХ ВИРОБІВ	290
21.	М. Д. Кухтин, М. В. Кухтин МОНІТОРИНГ АНТИБАКТЕРІАЛЬНИХ РЕЧОВИН У ЗАМОРОЖЕНІЙ РИБІ ІМПОРТОВАНОЇ В УКРАЇНУ	291
22.	Р. І. Журбик, К. Є. Дацишин РОЗРОБЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ТОНІЗУЮЧОГО МОЛОКОВМІСНОГО ФЕРМЕНТОВАНОГО НАПОЮ	292
23.	А. І. Журбик, К. Є. Дацишин ВПЛИВ РІЗНИХ РЕАГЕНТІВ НА ВИХІД МОЛОЧНО-РОСЛИННОГО СИРУ ПРИ ТЕРМОКИСЛОТНОМУ СПОСОБІ ЙОГО ОТРИМАННЯ	293
24.	О. А. Цибіна, Л. А. Сторож ПАЖИТНИК ЯК СМАКО-АРОМАТИЧНА ДОБАВКА ДЛЯ РОЗСІЛЬНИХ СИРІВ	294
25.	Є. І. Кучерявий, А-І. М. Голояд ІТЕНСИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСУ РОЗПОДІЛЕННЯ ТЕПЛОНОСІЯ В ПІДГРІВАЧІ СОЛОДУ	295
26.	В. В. Корницький ЗАСТОСУВАННЯ КАВІТАЦІЇ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ	297
27.	Р. І. Мацега, С. С. Наконечний, Н. М. Зварич СУЧАСНІ ВИМОГИ ДО ХЛІБОПЕКАРСЬКОГО ОБЛАДНАННЯ	299
28.	П. М. Чорний, Я. В. Фриз, Н. М. Зварич ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОСФЕКТИВНОСТІ ВИРОБНИЦТВА ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ	300
29.	А. Т. Лялик, Л. І. Божик ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ПРОДУКТІВ У ХЛІБОПЕКАРСЬКОМУ ВИРОБНИЦТВІ	301
30.	О. С. Покотило, Д. Я. Далєвська, В. М. Далєвський ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ РЯЖАНКИ В ПРОЦЕСІ ФЕРМЕНТАЦІЇ	302