

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломної роботи

магістр

(освітній рівень)

на тему:

**Розроблення заходів із зниження енергоємності сушіння зерна
на барабанній сушарці марки СЗСБ-8А
із дослідженням процесу теплообміну**

Виконав: студент VI курсу, групи МОм-61,

спеціальності: 133 Галузеве машинобудування

(шифр і назва спеціальності)

Ваверчак А. С.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

Кравець О.І.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

Ворощук В.Я.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

м. Тернопіль – 2019

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
 (повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет інженерії машин, споруд та технологій

Кафедра обладнання харчових технологій.

Освітній рівень магістр
 (шифр і назва)

Спеціальність 133 Галузеве машинобудування
 (шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Обладнання харчових технологій
д.т.н., професор Вітенько Тетяна Миколаївна.

“ ____ ” _____ 201__ року

З А В Д А Н Н Я НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Ваверчак Андрій Степанович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Розроблення заходів із зниження енергоємності сушіння зерна на барабанній сушарці марки СЗСБ-8А із дослідженням процесу теплообміну

керівник роботи Кравець Олег Ігорович к.т.н.

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від “ ____ ” _____ 2019 року № ____

2. Строк подання студентом проекту : “ ____ ” грудня 2019 року

3. Вихідні дані до проекту: Технічний паспорт барабанної сушарки марки СЗСБ-8А Річний план випуску продукції.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Загально-технічна частина. 1.1. Аналіз будови та принципи роботи пластинчастої пастеризаційно-охолоджувальної установки. 1.2. Місце та призначення пастеризаційної установки в технологічній схемі виробництва вершкового масла. 1.3. Аналіз процесів пастеризації та стерилізації вершків. 1.4. Порівняльна характеристика технологічного обладнання. 1.5. Висновки. Мета та задачі дипломної роботи.

2. Методи. 2.1. Методика дослідження гранулометричного складу зерна. 2.2. Опис експериментального стенду для дослідження процесу теплообміну. 2.3. Стандартизовані методи досліджень

3. Дослідження тепло-масообміну під час роботи барабанної сушарки. 3.1. Визначення дисперсного складу продукту сушіння. 3.2. Дослідження теплообміну, що відбувається між матеріалом та сушильним агентом при роботі барабанної сушарки. 3.3. Моделювання переміщення зерна пшениці під час його сушіння у барабані сушарки. 3.4. Зменшення енергоємності процесу сушіння зерна на барабанній сушарці. 3.5. Висновки до розділу. 4. Розрахунок та конструювання барабанної сушарки 4.1. Розрахунок необхідних параметрів роботи барабанної сушарки для зерна. 4.2. Конструктивний розрахунок сушарки. 4.3. Міцнісний розрахунок сушарки 4.4. Підбір електродвигуна. 4.5. Розрахунок допоміжного обладнання барабанної сушарки. 2.6. Конструкція барабанної сушарки. Загальні висновки.

5. Спеціальна частина. 6. Організаційно-економічна частина. 7. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. 8 Екологія

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

1. _____
2. _____
3. _____
4. _____

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Організаційно-економічна частина.	Мосій О.Б. – к.е.н, доцент		
Охорона праці	Кравець О.І. – к.т.н., доцент		
Безпека в надзвичайних ситуаціях	Стручок В.С. – ст. викл.		
Екологія	Зварич Н.М. – к.т.н., доцент		
Спеціальна частина	Вітенько Т.М. – д.т.н., професор		
Нормоконтроль	Ворощук В.Я. – к.т.н., доцент		

7. Дата видачі завдання _____ 2019р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	Примітки
1.	1. Загально – технічна частина.	до 01.09.2019р.	
2.	2. Методи досліджень	до 15.09.2019р.	
3.	3. Дослідження тепло-масообміну під час роботи барабанної сушарки.	до 30.09.2019р.	
4.	4. Розрахунок та конструювання барабанної сушарки	до 10.10.2019р.	
5.	5. Спеціальна частина.	до 15.10.2019р.	
6.	6. Організаційно-економічна частина.	до 10.01.2019р.	
7.	7. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.	до 15.01.2019р.	
8.	8. Екологія	до 20.10.2019р.	
9.	Загальні висновки до дипломної роботи.	до 20.10.2019р.	
10.	Перелік посилань.	до 25.10.2019р.	
11.	Загальний вигляд Ф-А1;	до 25.10.2019р.	
12.	План розміщення обладнання на ПрАТ «Тернопільський молокозавод». Ф-А1	до 30.10.2019р.	

Студент

(підпис)

Ваверчак А.С.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Кравець О.І.
(прізвище та ініціали)

Анотація

Ваверчак А.С. Розроблення заходів із зниження енергоємності сушіння зерна на барабанній сушарці марки СЗСБ-8А із дослідженням процесу теплообміну.

Дипломна робота магістра за спеціальністю 133 Галузеве машинобудування. Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Тернопіль, 2019.

Дипломна робота присвячена зниженню енергоємності процесу сушіння зерна пшениці.

Проведено дослідження теплообміну, що відбувається між матеріалом та сушильним агентом при роботі барабанної сушарки. Встановлено дисперсний складу зерна пшениці. Здійснено моделювання переміщення зерна пшениці під час його сушінні у барабані сушарки. Досягнуто зниження енергоємності процесу сушіння зерна на барабанній сушарці за рахунок встановлення раціонального значення швидкості руху гарячого повітря.

Ключові слова: барабанна сушарка, вологість, сушіння.

Вступ

1. Огляд сучасного стану обладнання для сушіння.
 - 1.1. Аналіз об'єкту дослідження, вибір основних напрямків дослідження.
 - 1.2. Огляд способів та апаратів, що використовується з метою сушіння в харчовій промисловості.
 - 1.3. Аналіз кінетики процесу сушіння.
 - 1.4. Аналіз сучасні конструкцій барабанних сушарок
 - 1.5. Будова та принцип роботи барабанної сушарки СЗСБ-8А.
 - 1.6. Мета та основні задачі дипломної роботи.
2. Методи досліджень.
 - 2.1. Методика дослідження гранулометричного складу зерна
 - 2.2. Опис експериментального стенду для дослідження процесу теплообміну.
 - 2.3. Стандартизовані методи досліджень.
3. Дослідження тепло-масообміну під час роботи барабанної сушарки
 - 3.1. Визначення дисперсного складу продукту сушіння
 - 3.2. Дослідження теплообміну, що відбувається між матеріалом та сушильним агентом при роботі барабанної сушарки.
 - 3.3. Моделювання переміщення зерна пшениці під час його сушінні у барабані сушарки
 - 3.4. Зменшення енергоємності процесу сушіння зерна на барабанній сушарці
 - 3.6. Висновки до розділу.
4. Розрахунок та конструювання барабанної сушарки
 - 4.1. Розрахунок необхідних параметрів роботи барабанної сушарки для зерна

- 4.1.1. Тепловий розрахунок сушарки
- 4.2. Конструктивний розрахунок сушарки
 - 4.2.1. Розрахунок розмірів барабану
 - 4.2.2. Визначення тривалості сушіння зерна
 - 4.2.3. Визначення частоти обертання барабану сушарки
 - 4.2.4. Визначення потужності електродвигуна
- 4.3. Міцнісний розрахунок сушарки
- 4.4. Підбір електродвигуна
- 4.5. Розрахунок допоміжного обладнання барабанної сушарки барабанна сушарка сульфат амоній
 - 4.5.1. Розрахунок циклону
 - 4.5.2. Підбір відцентрового вентилятора для транспортування сушильного агенту
- 4.6. Конструкція барабанної сушарки
- 5. Спеціальна частина.
 - 5.1. Загальна інформація
 - 5.2. Використання програмного забезпечення для встановлення математичних залежностей між досліджуваними в роботі фізичними величинами
 - 5.3. Використання програмного забезпечення для виконання графічної частини дипломної роботи
- 6. Організаційно-економічна частина
 - 6.1 Організація виробничого процесу зневоднення казеїну на ПрАТ «Тернопільський молокозавод»
 - 6.1.1. Тип виробництва

6.1.2. Принципи та форми організації виробничого процесу

6.1.3. Розрахунок чисельності промислово-виробничого персоналу

6.2. Розрахунок економічної ефективності проекту нового будівництва, реконструкції та технічного переоснащення

7. Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях

7.1. Охорона праці

7.1.1. Аналіз умов праці у харчовій галузі за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища.

7.1.2. Сучасні заходи першочергових напрямків поліпшення стану виробничого середовища, зменшення важкості та напруженості трудового процесу.

7.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях.

7.2.1 Організація та проведення дослідження стійкості роботи підприємств харчової та переробної промисловості в умовах надзвичайних ситуацій

7.2.2. Радіоактивне забруднення місцевості та його вплив на виробничу діяльність підприємств харчової та переробної промисловості.

8. Екологія

8.1. Аналіз забруднення навколишнього середовища при виробництві харчових продуктів

8.2. Екологічні загрози при виробництві хлібобулочних виробів.

Висновки

Перелік посилань

Додатки

Специфікації

Вступ

У різних виробництвах широко поширені процеси теплового сушіння при яких для видалення вологи з матеріалу в основному застосовують методи, засновані на спалюванні природного палива і продуванні зернової маси потоком гарячого повітря з подальшим викидом тепла в атмосферу.

Цей процес є надзвичайно енергоємним, адже велика частина тепла, отриманого від згорання органічного палива, викидається в атмосферу і лише мала доля витрачається безпосередньо на випаровування вологи з матеріалу.

Світова практика сушіння дисперсних харчових продуктів показує, що тепла енергія під час сушіння витрачається витрачається в наступній пропорції: на випаровування вологи йде 40%, на нагрівання зерна – 10%, на нагрів повітря і випарованої вологи до температури сушильного агента 20%, 30% теплоти втрачається у довкілля.

Сушіння дисперсного харчового продукту – це один з найбільш складних процесів, оскільки в даному процесі змінюється агрегатний стан води в об'єкті, змінюються властивості одного продукту, а інколи і його форма. Сушіння більшості харчових продуктів здійснюють заздалегідь нагрітим повітрям. Виключення представляє сушіння зернових, при якій сушильним агентом є

суміш топкових газів і повітря. Безпосередній контакт продуктів згорання із зерном погіршує його якість у зв'язку із можливим проникненням у продукт канцерогенних компонентів. А викид топкових мас в атмосферу, яким супроводиться такий процес, значно погіршує екологічний фон.

1. Огляд сучасного стану обладнання для сушіння. Аналіз об'єкту дослідження, вибір основних напрямків дослідження.

1.1. Особливості сушіння зерна пшениці

Різні культури потребують індивідуальних підходів у проведенні сушіння. Пшеницю висушують за змінних температурних режимів із урахуванням якості клейковини у зерні. За слабкої клейковини температуру підвищують, за надто міцної — знижують, аби зберегти та поліпшити якість зерна. Підвищені температури дають змогу дещо зміцнити клейковину, понижені — не призводять до її додаткового зміцнення. За м'яких режимів висушують зерно цінних, сильних і твердих пшениць. Зерно проросле, ушкоджене клопом-черепашкою формує слабку клейковину, тому його також висушують за підвищених температур, але з постійним контролем за режимом сушіння.

Вибираючи режим, слід враховувати конструкцію зерносушарки. За сушіння пшениці у шахтних прямоточних зерносушарках режим сушіння встановлюють відповідно до табл. 3 [1].

Таблиця 3. Режими сушіння зерна пшениці у шахтних сушарках

Якість клейковини (число одиниць за приладом ІДК)	Вологість зерна, %	Етапність сушіння: пропускання через сушарку	Максимальна температура нагрівання зерна, °С	Максимальна температура теплоносія, °С		
				одноступінчастий режим	двоступінчастий режим	
					перша зона	друга зона
Добра (45-75)	≤20	—	50	140	130	150
	>20	Перше Друге	45 50	110 130	100 120	120 140
Міцна (до 40)	≤20	—	45	120	110	130
	>20	Перше Друге	40 45	90 110	80 100	100 120
Слабка (понад 80)	≤20	—	60	150	140	160
	>20	Перше Друге	55 60	120 140	110 130	130 150
Пшениця: сильна, тверда, цінних сортів	≤20	—	50	100	100	110
	>20	Перше Друге	45 50	90 100	90 100	100 110

Після кожного проходження зерна через сушарку його вологість має знижуватись не більш як на 6–8%. Тому для зниження вологості понад 8% зерно слід пропустити через сушарку декілька разів.

Основним показником процесу сушіння є температура нагрівання зерна. У сушарках, не обладнаних дистанційною термометрією, температуру бажано контролювати через кожні 2 год процесу сушіння.

Інші культури також мають свої особливості сушіння. Наприклад, жито і ячмінь — порівняно термостійкі культури, тому їхнє зерно під час сушіння можна нагрівати до 60°C за винятком пивоварного ячменю. Останній повинен мати високу схожість, у зв'язку з чим максимально допустима температура його нагрівання становить 40°C для зерна з вологістю до 19%, та 45°C — вищої вологості.

1.2. Огляд способів та апаратів, що використовується з метою сушіння в харчовій промисловості.

Сушіння зерна є найбільш ефективнішим способом його підготовки до тривалого зберігання. Ефективність цього способу пояснюється значним покращенням борошномельних та хлібопекарських властивостей зерна - важливих товарних якостей цього продукту.

Зерно можна сушити в природних умовах – на сонці або з використанням вентиляторів. Але такий варіант сушіння обмежується застосуванням лише невеликої кількості зерна і умовами клімату. Цим пояснюється чому сушіння за допомогою спеціального обладнання – сушарок, досягло настільки великої поширеності.

Обладнання для сушіння зерна також характеризується та іншими перевагами:

- скорочується застосування витрат при транспортуванні;
- підвищується продуктивність млинів.

На сьогодні існує велике різноманіття методів штучного зневоднення а також відповідного обладнання для сушіння.

Вимоги до сучасних сушарок наступні:

- рівномірне нагрівання матеріалу;
- рівномірне зневоднення;
- можливість контролю температури сушильного агента та матеріалу, що сушиться;
- низька металоємність;
- забезпечення контролю значення вологості матеріалу;
- універсальність для сушіння різноманітних матеріалів.

Сушарки для харчової сировини та продуктів класифікують за рядом:

- за способом підведення тепла до матеріалу, що піддається сушінню: конвекційні, кондуктивні (контактні), радіаційні (з інфрачервоним випромінюванням або з струмами високої (ТВЧ) і надвисокої (НВЧ) частоти).
- За значенням тиску повітря в сушильній камері: атмосферні, вакуумні, сублімаційні.
- За характером роботи: апарати періодичної і безперервної дії.
- По виду сушильного агента, що використовується: апарати, що використовують нагріте повітря, димові гази, суміш повітря з димовими газами або перегріту пара.
- За типом циркуляції сушильного агента: установки з природною циркуляцією, примусовою циркуляцією за допомогою вентиляторів.
- За характером руху сушильного агента відносно матеріалу, що сушиться: прямоточні (коли напрямок руху сушильного агента і матеріалу співпадають), протиточні (протилежний рух сушильного агента і матеріалу), з проникненням сушильного агента у шар матеріалу (фільтраційне сушіння).
- За способом підвищення температури сушильного агента: сушильні установки з паровими, вогневими, електричними калориферами.

- В залежності від кратності використання сушильного агента: з одноразовим і багаторазовим використанням нагрітого повітря..

- За видом матеріалу, що сушиться: для твердих (великих, дрібних, пилюватих), рідких і пастоподібних матеріалів.

- За конструктивними ознаками сушарки поділяються на: тунельні, камерні, коридорні, барабанні, вальцеві ті інші.

- В залежності від способу підведення тепла: конвекційні (матеріал омивається потоком нагрітого сушильного агента), контактні (реалізується безпосередній контакт з поверхнею, що нагрівається), сублимаційні і радіаційні сушарки.

На даний час найбільше застосування мають конвекційні сушарки.

Широке застосування в харчовій галузі отримали стрічкові сушарки. Вони мають вигляд камери з безперервно діючими стрічковими конвеєрами 1 (рис. 1.1) з металевої сітки.

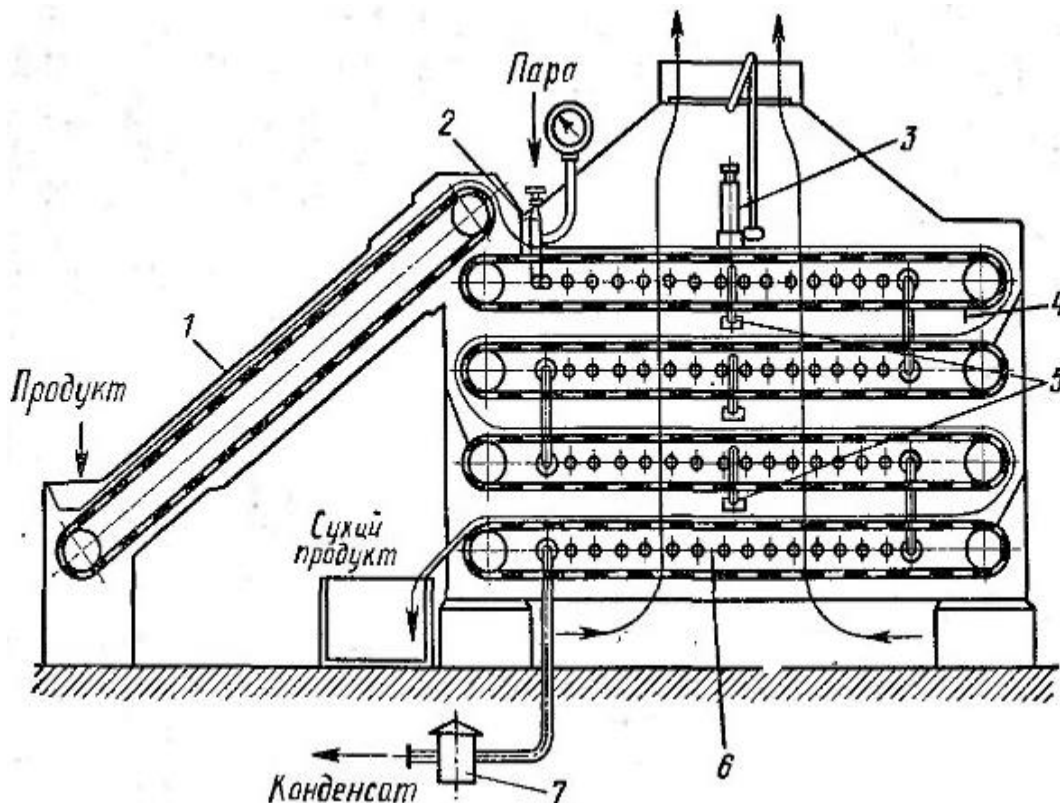


Рис. 1.1. Схема парової стрічкової сушарки

1 – транспортер; 2 – шибер для розрівнювання шару матеріалу; 3 – психрометр;

- 4 – скребки для очистки стрічки; 5 – термометри; 6 – секція калорифера;
7 – патрубок для відводу конденсату.

Гаряче повітря з температурою $75\text{ }^{\circ}\text{C}$ продувається крізь шар матеріалу і висушує його при безперервному русі. Температура відпрацьованого повітря близько $55\text{ }^{\circ}\text{C}$. Одночасно в камеру подається гаряче повітря з температурою $100 - 110\text{ }^{\circ}\text{C}$ зі швидкістю і витратою, які забезпечують стійкий режим «кипіння» гранульованого матеріалу.

Матеріал завантажується в установку транспортером 1, який розташований під кутом. За допомогою шибера 2 шар продукту вирівнюється, і розподіляється на сітчастих стрічках тонким шаром. Скребки 4 призначені для очищення з стрічки залишків продукту.

У середині камери сушарки є калорифер 6, що призначений для нагріву повітря, яке є сушильним агентом. У міру переміщення продукту з однієї стрічки на іншу він висихає завдяки обдуву нагрітим повітрям. Верхні стрічки рухаються з більшою швидкістю, ніж нижні. Їх швидкість руху регулюється варіатором. Від швидкості руху стрічок залежить тривалість перебування матеріалу в сушарці. Цей час може становити $1,5 - 5,5$ годин.

Скребковий сушарка виконана у вигляді прямокутника (рис. 1.2).

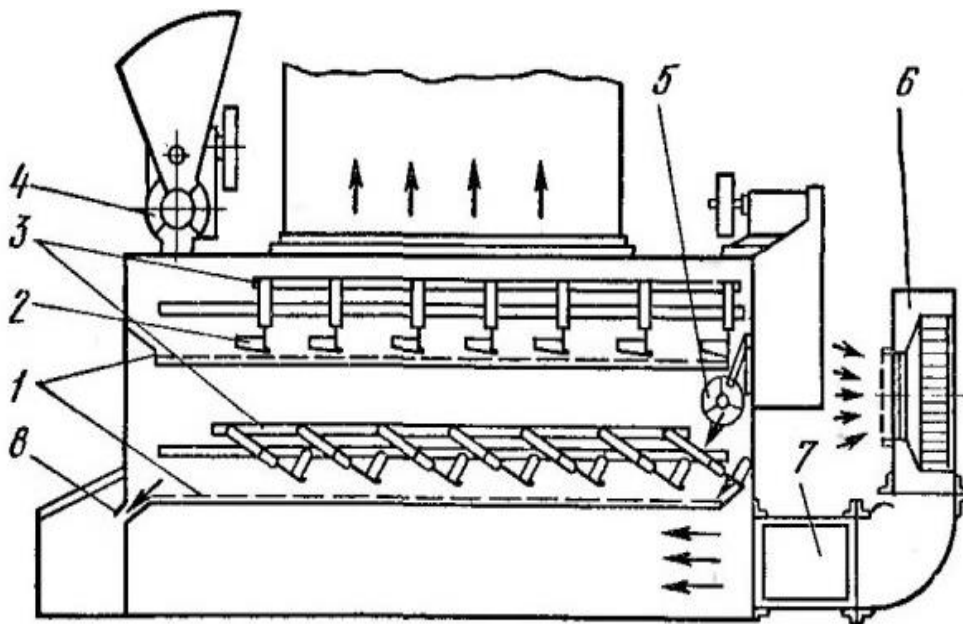


Рис. 1.2. Схема скребкової сушарки

1 - сушильні полки; 2 - скребки; 3 - жорсткі рами; 4 - подрібнювач;
5 - додатковий подрібнюючий пристрій; 6 - вентилятор; 7 - паровий калорифер;
8 - бункер шнеку.

Зовні її каркас закривається щитами з металу. На бічних сторонах є по три оглядових вікна. Полки 1 сушарки представляють знімні рами, на які натягнута металева сітка. Перемішування матеріалу і його переміщення уздовж полиць здійснюється скребками 2, які встановлені в рами 3. Рух рами зі скребками здійснюється по етапах. Верхня рама рухається горизонтально зліва направо. Скребки в цей момент перемішують матеріал і просувають його.

Після цього рама піднімається вгору і переміщається в початкове положення, не торкаючись продукту. Коли вона доходить до кінця, то процес повторюється. Нижня рама рухається в протилежному верхній рамі напрямку. Електроенергія до рам підводиться від електродвигуна через редуктор і ланцюгову або ремінну передачу.

Товщина шару матеріалу, який розподіляється на полиці, становить 3 мм. Верхня полиця не дістає до правого торця установки. Цей зазор дозволяє продукту переміщатися з верхньої полиці на нижню. У цьому місці розташовано подріблювальний пристрій 5. Після того як матеріал пройде уздовж всієї нижньої полиці, він потрапляє в бункер 8. З нього він шнеком відправляється на фасування.

Калорифер 7 нагріває повітря (90-95 °С) за допомогою якого сушиться матеріал. Відпрацьоване повітря видаляється з центрального отвору сушарки. Щоб регулювати процес сушіння в автоматичному режимі, поруч з калорифером встановлений електроконтактний термометр. Він пов'язаний з електромагнітним клапаном, який призначений для регулювання подачі пари в калорифер.

На рис. 1.3. зображена схему безперервної вихрової сушарка для матеріалу із псевдо-зрідженим шаром. Матеріал з завантажувального пристрою 3 направляється в живильник-гранулятор 4. З нього виходять вже гранули з

розміром в 2-5 мм. Вони відразу потрапляють в сушарку 5. У неї подається гаряче повітря (120 °С). На шляху повітря є решітки. Проходячи через їх щілини повітря утворює вихровий рух частинок матеріалу і їх псевдозріджений стан. Сухий матеріал надходить в приймач. З нього по пневмотранспорту 9 він потрапляє в бункер 8. Вентилятор 7 створює рух повітря для пневмотранспорту.

Він також служить і для відсмоктування повітря з камери сушарки безперервної дії. Але спочатку повітря надходить в циклон 6, в ньому осідають частинки матеріалу. Повітря для обігріву в калорифері 2 надходить від вентилятора 1.

Вологість вихідного матеріалу повинна становити від 45 до 65%, температура – 20 ° С. Температура готовий продукт матиме температуру 20 – 50 °С. Продуктивність по сухому продукту – 150 – 160 кг/год.

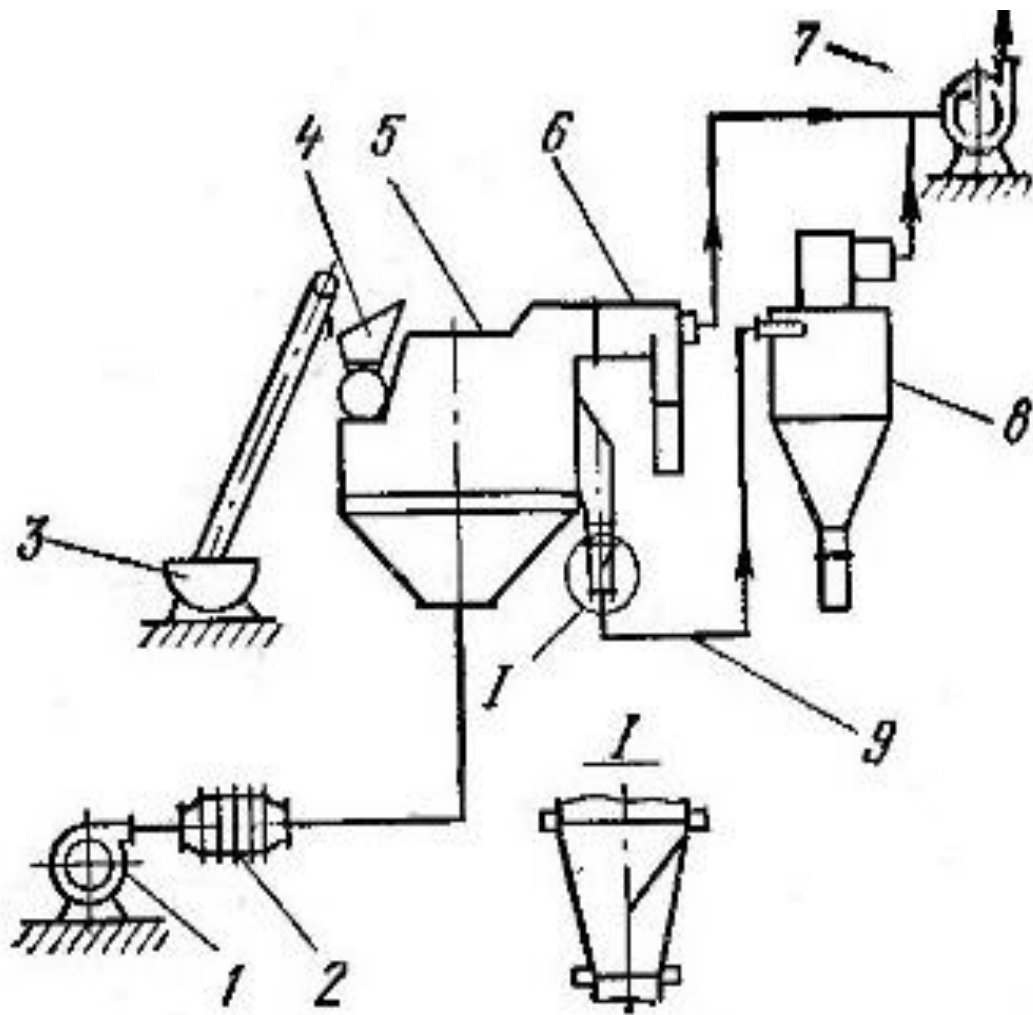


Рис. 1.3. Схема вихрової сушарки із псевдо-зрідженим шаром
 1 і 7 - вентилятори; 2 - калорифер; 3 - завантажувальний пристрій;
 4 - живильник-гранулятор; 5 - сушарка; 6 - циклон; 8 - бункер;
 9 - пневмотранспортер

Сушильна камера сушарки із псевдо-зрідженим шаром (рис. 1.4) являє собою прямокутний короб 2. Через люк 1 в нижню частину короба встановлено газорозподільне пристрій. Нагріте повітря надходить через горловину 6 і відводиться через патрубок 3, огинаючи відбійник 4 (первинний сепаратор), який направляє потік газу для підсушування продукту. Переливний поріг 5 забезпечує заданий рівень киплячого шару.

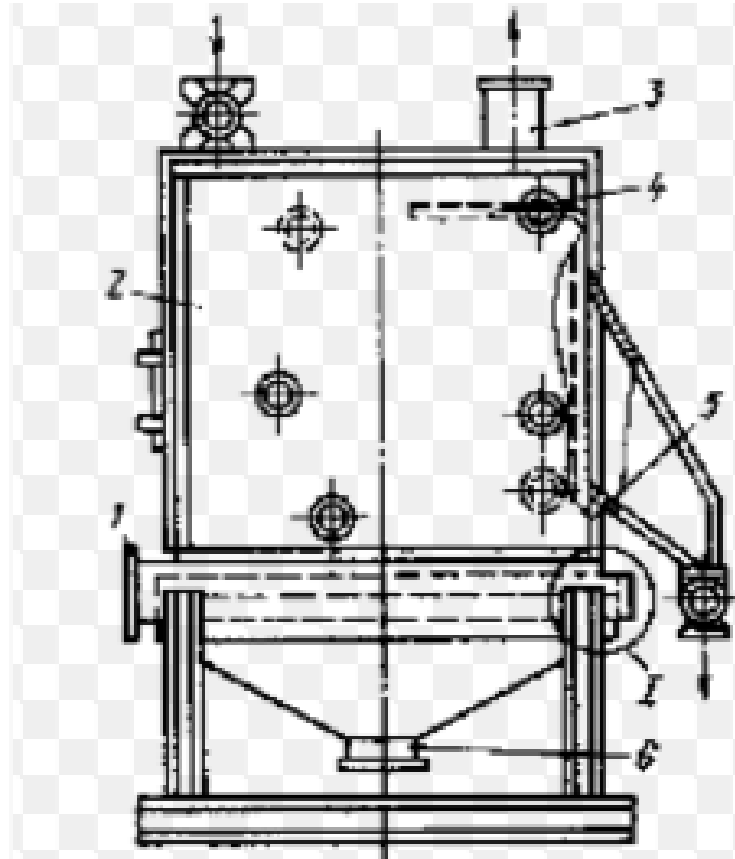


Рис. 1.4. Схема сушарки з псевдозрідженим шаром:

1 - люк; 2 - корпус; 3 – вихлопний патрубок; 4 - відбійник; 5 - переливний поріг;
6 - впускний патрубок.

На рис. 1.5 показано вібро-сушарку фірми «ангідрит» (Данія). Корпус установки, що складається з прямокутного жолоба 2 із газорозподільної ґратами 5, за допомогою амортизаторів 8 і пружин 7 встановлено на несучій рамі 6, яка спирається на фундамент.

Теплоносій подається під ґрати 5 і, пройшовши через шар, надходить в витяжної повітропровід. Привід сушарки складається з маятникового двигуна-вібратора 3 спрямованої дії з регульованим дисбалансом і частотою коливань. Швидкість руху матеріалу від завантажувального штуцера до зливної перегородці 9 може регулюватися за рахунок зміни кута нахилу газорозподільної решітки 5, амплітуди і частоти коливань. Висота шару матеріалу регулюється зміною висоти зливний перегородки 9.

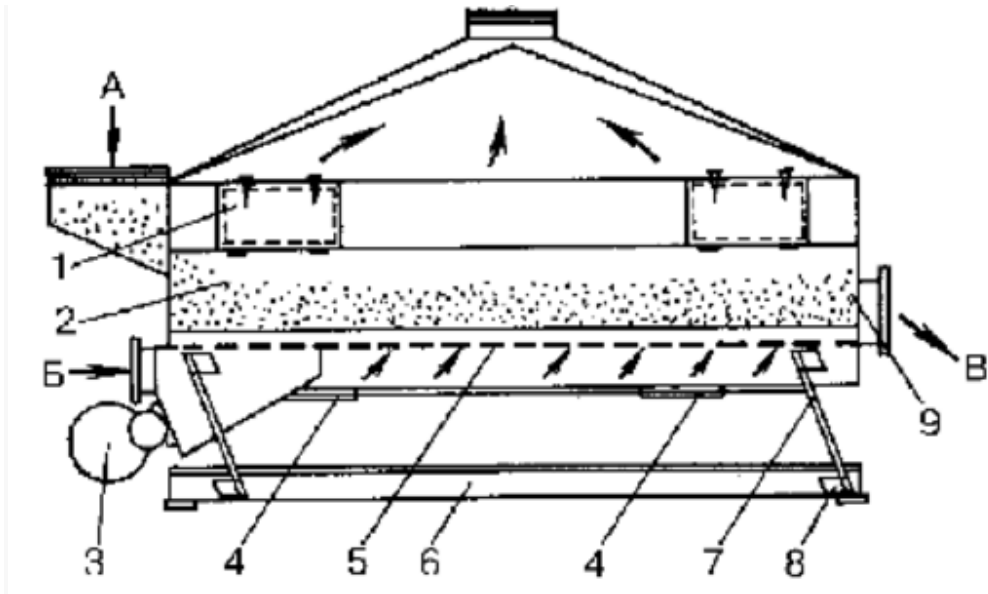


Рис. 1.5. Схема вібро-сушарки.

1 - оглядові вікна; 2 - жолоб; 3 - вібратор з електродвигуном; 4 – вивантажувальні люки; 5 - газорозподільна решітка; 6 - рама; 7 - пружини; 8 - амортизатори; 9 - зливна перегородка; А - вологий матеріал, Б, Г - теплоносій; В - сухий матеріал

1.3. Аналіз кінетики процесу сушіння

У конвективному обладнанні для сушіння вологий матеріал контактує з нагрітим повітрям. Спочатку випаровування вологи відбувається виключно з поверхні висушуваного матеріалу. Пара, що таким чином утворюється, поступово дифундує крізь тонкий поверхневий шар повітря, що оточує поверхню матеріалу, в навколишнє середовище. Це спричиняє виникнення різниці концентрацій вологи на поверхні матеріалу (дисперсної частки) та у його центральній частині. Тому волога переходить з внутрішніх частинки матеріалу на його поверхню.

Спочатку волога внутрішніх шарів надходить на поверхню в достатній кількості. Цей період можна охарактеризувати сталою швидкістю сушіння (кількістю випарованої вологи за одиницю часу із одиниці поверхні).

Протягом цього періоду процес сушіння визначається швидкістю дифузії випаровуваної вологи через плівку насиченого повітря. Саме тому цей період називають періодом «зовнішньої дифузії».

При масі вологи, що надходить до поверхні висушуваного матеріалу, меншій від її кількості, що може випаруватись, швидкість сушіння починає зменшуватись. Цей період відповідає критичним значенням вологовмісту матеріалу.

Період зменшення швидкості сушіння триває до того моменту часу, коли матеріал не досягне вологовмісту, який прийнято називати рівноважним. Тоді вологовміст повітря в шарі над матеріалом стає рівним вологовмісту в повітрі, що оточує даний матеріал. Продовження процесу сушіння при даних умовах стає неможливим.

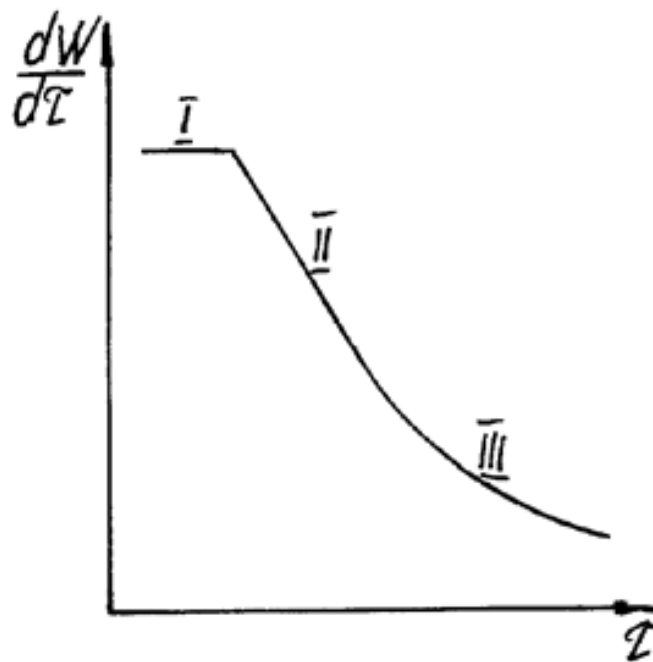


Рисунок 1.6. Графік залежності швидкості сушіння від часу

У період зменшення швидкості процес сушіння залежить від швидкості, з якою волога дифундує до поверхні матеріалу, тобто обумовлюється «внутрішньою дифузією».

Залежність швидкості сушіння від часу показано у вигляді кривої на рисунку 1.6. Ділянка I відповідає випаровуванню вологи з повністю змоченої

вологою поверхні; ділянка II – з поверхні після утворення на ній сухих ділянок; ділянка III - з поверхні, коли вся волога випарувалась і процес сушіння залежить тільки від швидкості дифундування вологи до поверхні.

Крива має різний вигляд для різних матеріалів. Вона залежить від форм зв'язку вологи з матеріалом та від умов сушіння.

1.4. Аналіз сучасні конструкцій барабанних сушарок

Барабанні сушарки (рис. 1.7.) – апарати безперервної дії з прямим теплообміном, у яких відбувається безпосереднє зіткнення вугілля з гарячими газами за проточнійною або протитечійною схемою руху газів і матеріалу. Ротаційні сушарки працюють за допомогою перекидання матеріалу в обертовий барабан за наявності повітря, що висушує. Вони також можуть бути побічно нагріті, щоб уникнути прямого контакту між матеріалом та середовищем обробки.

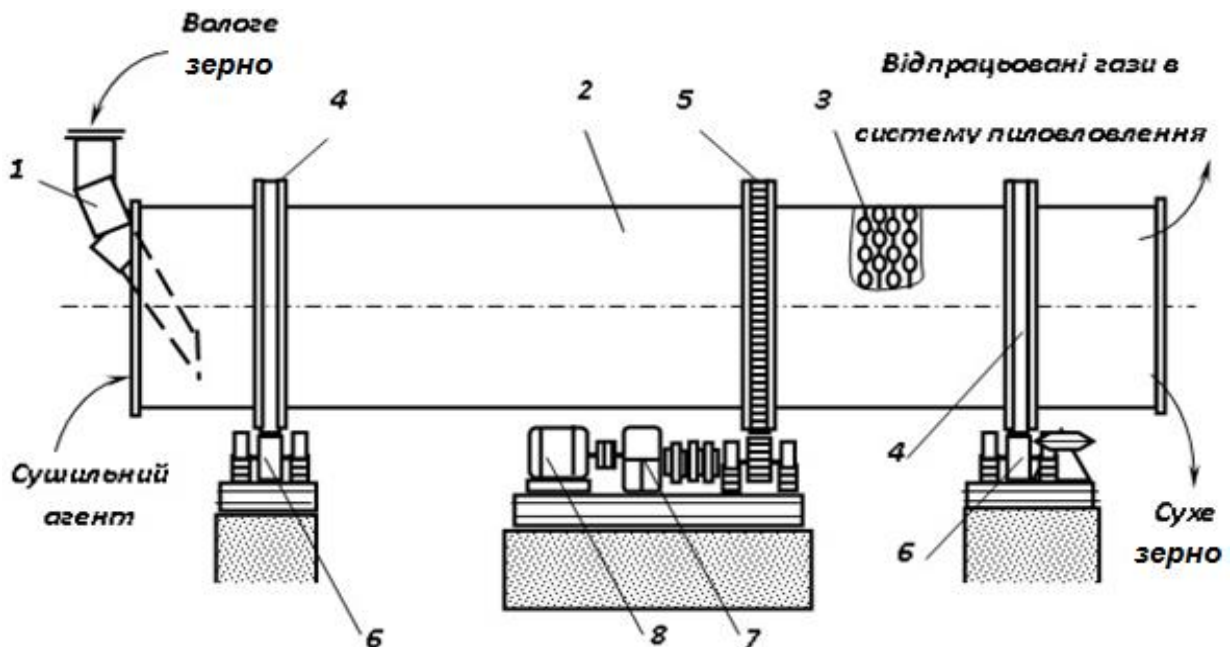


Рис. 1.7. Барабанна сушарка. 1 – вантажувальний лоток; 2 – барабан; 3 – ланцюгові насадки; 4 – бандаж; 5 – привідна ввінцева шестерня; 6 – котки; 7 – редуктор; 8 – електродвигун.

Барабанні сушарки застосовуються в харчовій промисловості переважно для рідин, а також для зернистих матеріалів, таких як харчові зерна, крупи,

бобові, кавові зерна, зброжені чайні листя тощо.

Фірма «KBW Machinery» а основі сушильної машини з триходовим барабаном розробила барабанну сушарку з потрійним проходом, щоб зробити крок далі в технології сушильних барабананів. Поворотна сушарка з потрійним проходом (рис. 1.8.) покращує ефективність експлуатаційних витрат, термін служби, енергоефективність, стійкість виробу.

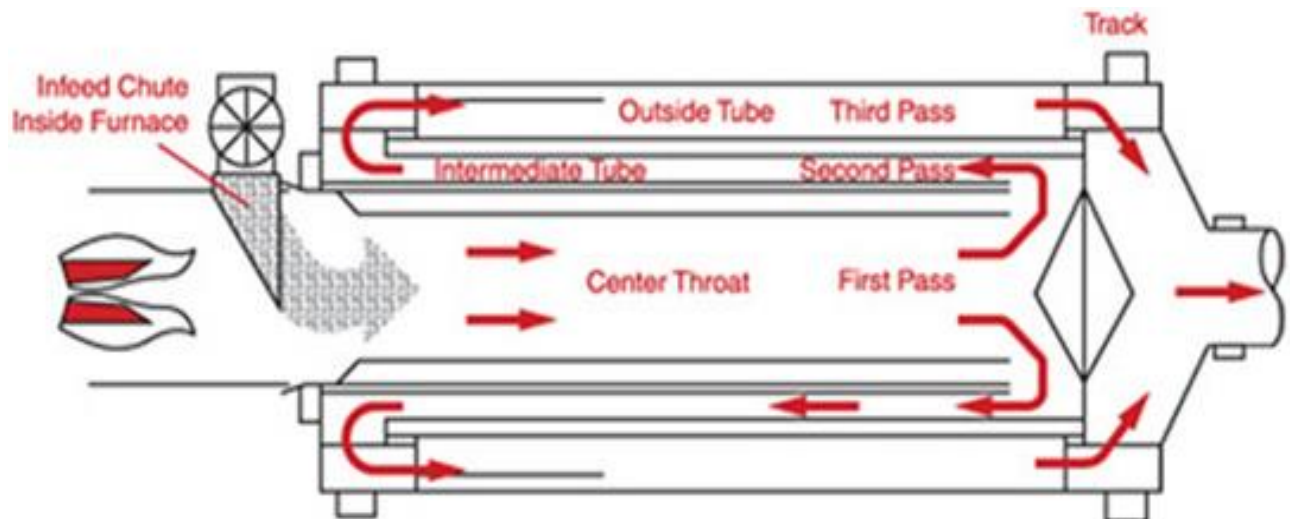


Рисунок 1.8. Триходова барабанна сушарка фірми «KBW Machinery»

Оскільки три проходи сконцентровані та з'єднані між собою, барабани повної довжини максимально збільшують ефективну тривалість та час перебування у значно меншій площі підлоги порівняно з сушаркою з одним проходом. Замість приводу передач або ланцюгового руху, барабанні сушарки з трьома проходами приводяться у рух роликами. Плавна передача зменшує стирання і продовжує термін служби.

Переваги триходової барабанної сушарки:

- Більш висока теплова ефективність. Зовнішній барабан відіграє також роль додаткової теплоізоляції.
- Тепловіддача відбувається у вигляді конвекції, провідності, випромінювання.
- Скорочена довжина, менша площа підлоги.

Недоліки триходової барабанної сушарки:

- Вологий продукт вводяться в центральне горло сушарки, безпосередньо в «пальник» гарячих газів.
- Вологі тверді речовини постійно піддаються нагріванню, коли вони переміщуються по всій довжині барабана. Це призводить до обвуглювання, пересушування і навіть пожеж.
- Подаючи в центральне горло, вологі тверді речовини витісняються у тисний простір. Навіть незважаючи на те, що літають підйомники і пересувається, продукт має меншу відстань до падіння і має тенденцію утворювати скупчення.
- Сушильний агент на початку свого руху має велику швидкість, але вона падає, коли він рухається через кільцеві проходи. Це падіння швидкості зменшує транспортуючу здатність.

Також звичайні триходові барабани можуть пересушити матеріал. Він починає висихати з великою швидкістю повітря, потім падає на кожному етапі, тому частинки можуть накопичуватися, перегріватися та засмічуватися.

Ротаційна барабанна сушарка з чотирма зонами QuadPass™ запускається з нижчою швидкістю, пізніше швидкість поступово зростає.

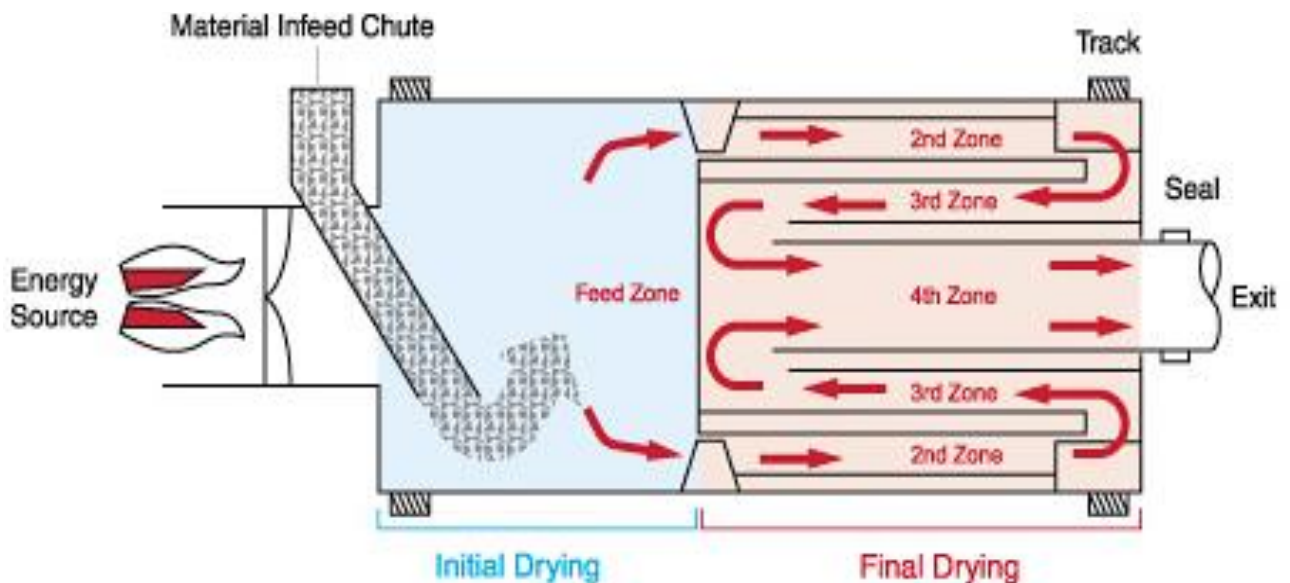


Рисунок 1.9. Барабанна сушарка фірми QuadPass™ з чотирма зонами.

Це дозволяє висушувати кожен частинку матеріалу з його індивідуальною швидкістю висихання, незалежно від розміру, щільності або вологості. Висушені частинки виходять з барабану, не перегріваючись.

Переваги барабанної сушарки з чотирма зонами:

- Подача матеріалу дозволяє вологому корму потрапляти в барабан подалі від «паяльника» гарячих газів.
- Вологі тверді речовини піддаються впливу високої температури контрольованим шляхом, через послідовність "підйому та падіння".
- Зона подачі – це весь діаметр барабана. Подача в такий великий об'єм дозволяє частинкам поширюватися і подорожувати окремо, а не грудками. Падіння через значно більшу вертикальну відстань забезпечує подачу сушильного агента до всіх поверхонь частинок.
- Швидкість руху сушильного агента є найбільш повільною у зоні подачі, а потім стає прогресивнішою у кожній наступній зоні. Ця зростаюча швидкість допомагає транспортуванню матеріалів.
- Більші, більш вологі частинки довше залишаються в барабані і продовжують віддавати вологу, оскільки їх виштовхує повітря. Кожна частинка виходить із системи сушарки при бажаному вмісті вологи.

1.5. Будова та принцип роботи барабанної сушарки СЗСБ-8А

Сушарка для зерна СЗСБ-8А (рис. 1.10.) призначена для сушіння насінного і фуражного зерна будь-якої початкової вологості та засміченості. Дану машину використовують у складі зерноочисних-сушарних комплексів КЗС-25Б.

Барабанна зерносушарка складається з топкового блоку 2, перехідника 1, сушильного барабана 8, вивантажної камери 19, вентилятора 9, охолоджувальної колонки, норії 17, приводної станції 22, повітрепроводів і паливної системи.

Топковий блок призначений для спалювання рідкого палива і утворення теплоносія (суміш топкових газів з повітрям) з параметрами, необхідними для сушки. Блок складається з пальника, камери згорання, камери змішувача, відбивного екрану і автоматичної системи.

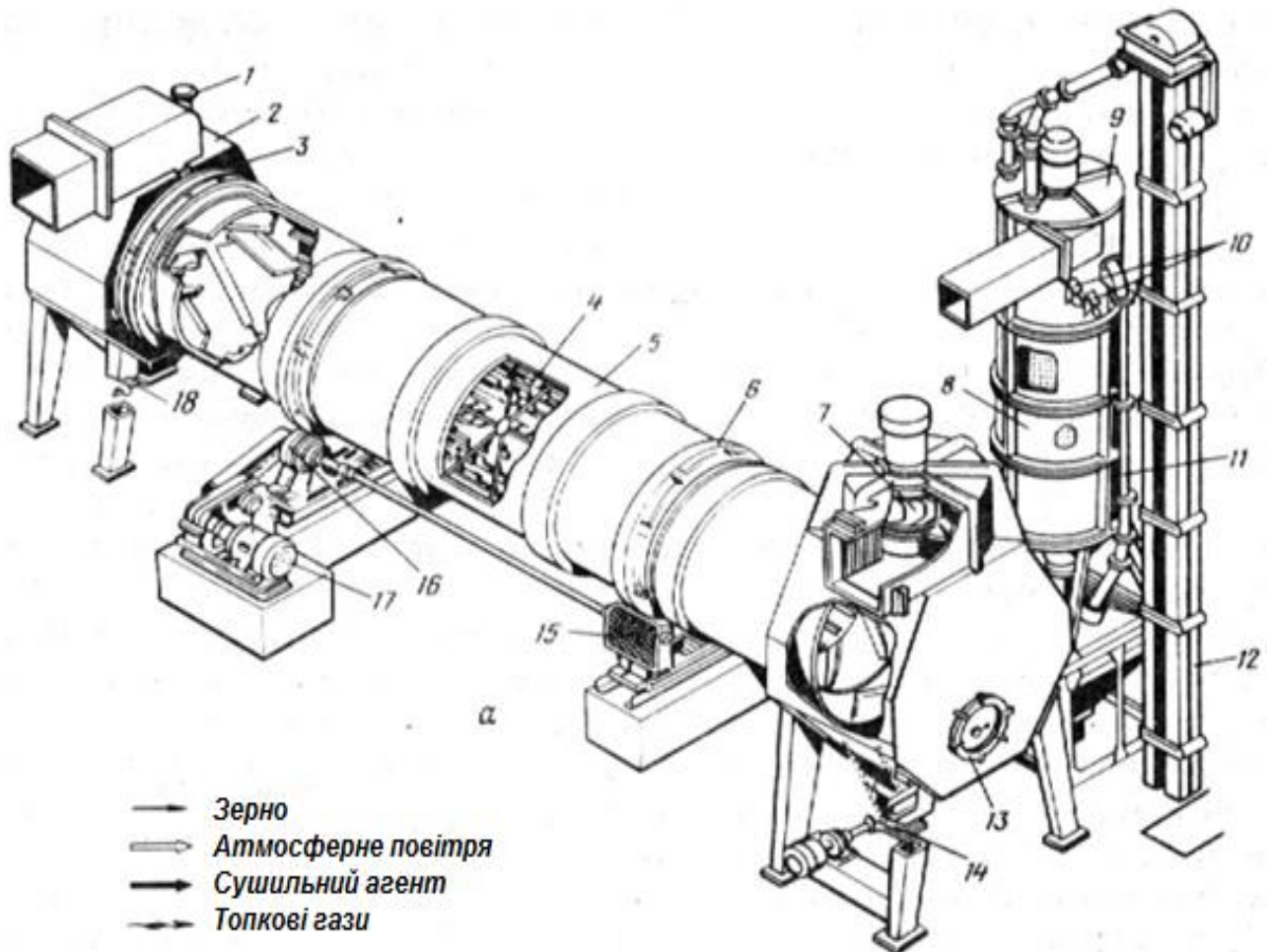


Рисунок 1.10. Барабанна сушарка для зерна СЗСБ-8А

- 1 – перехідник; 2 – тойпкови блок; 3 – завантажувальна труба;
 4 – лопаті; 5 — кільце; 6 — хрестовина; 7 — поличка;
 8 — сушільний барабан; 9 і 12 — вентилятори; 10 і 11 — циліндри;
 13 і 14 — датчики рівня; 15 — конус; 16 і 20 — шлюзові затвори;
 17 — норія; 18 – бункер; 19 — вивантажна камера; 21 — ролики;
 22 – привідна станція.

Пальник забезпечений вентилятором і форсункою для розпилування палива. Паливо подається у форсунку насосом з бака, встановленого за межами

будівлі. Подачею палива управляє автоматика, за допомогою якої встановлюють і підтримують температуру теплоносія.

Сушильний барабан включає шестисекційну хрестовину 6 і обичайки. На промінні хрестовини закріплені палички 7 для пересипання зерна. На внутрішній поверхні на початку і кінці барабана змонтовані лопаті 4, розташовані по гвинтових лініях. На вихідному кінці барабана встановлений конусний патрубок, до торця якого приєднано підпірне кільце з люками.

Обичайка барабана укладена в два кільця-бандажі 5, якими барабан спирається на приводні і підтримуючі ролики 21. Барабан приводиться в обертання приводною станцією 22, частота його обертання 8 обертів за хвилину.

На даху вивантажної камери 19 встановлений вентилятор 9, засмоктуючий теплоносій від топкового блоку. Внизу камера звужується, утворюючи вивантажний лоток, на якому змонтований шлюзовий затвор 20. Охолоджувальна колонка, призначена для охолодження зерна після сушки, складається із зовнішнього 10 і внутрішнього 11 перфорованих циліндрів, вентилятора, шлюзового затвора 16 і автоматики для підтримки необхідного рівня зерна в кільцевій камері колонки.

Робочий процес сушіння полягає в наступному. Вологий зерновий ворох, що подається по трубі 3 в завантажувальну камеру, висипається на гвинтові лопаті 4. Насіння під дією теплоносія, рухомого усередині барабана від топкового блоку 2 до вентилятора 9, натиску вороха в зоні завантаження і гвинтових лопаток поступають в барабан. Полички 7 захоплюють порції насіння, піднімають їх вгору і скидають вниз. Теплоносій, проходячи через барабан, пронизує насіння, що зсипається з поличок, і нагріває їх. В результаті нагріву волога з насіння випаровується, поглинається теплоносієм і віддаляється з сушарки. Відпрацьований теплоносій вентилятор 9 викидає в атмосферу. Кількість теплоносія, що проходить через барабан, регулюють за допомогою дроселя вентилятора залежно від критичної швидкості

висушеного насіння. Швидкість випаровування вологи збільшується пропорційно температурі нагріву зерна, яку можна піднімати лише до значень, допустимих агротехнічними вимогами.

Перегрів зерна приводить до розпаду речовин (денатурація білка), що входять до складу кліток зерна, відмиранню протоплазми і загибелі зерна як живого організму. Тому при сушіння зерна важливо забезпечити такий режим, який виключав би його перегрів.

Температура нагріву зерна залежить від двох чинників — температури теплоносія і часу перебування зерна в сушильній камері (експозиція сушки). Температуру теплоносія регулюють і підтримують автоматикою топочного блоку, а експозицію сушки — вивантажним пристроєм.

Висушене зерно, безперервно вивантажуване шлюзовим затвором 20, поступає в норію 17 і завантажується зверху в охолоджувальну колонку. Холодне повітря, всмоктуване вентилятором 12 через отвори зовнішнього циліндра 10, проходить через шар зерна, охолоджує його і по внутрішньому циліндру 11 поступає у вентилятор.

Шлюзовий затвор 16 безперервно вивантажує зерно з охолоджувальної колонки. Тому зерно в колонці рухається вниз. Датчики 13 і 14 автоматично підтримують постійний рівень зерна в кільцевій камері охолоджувальної колонки.

Продуктивність сушарки при зниженні вогкості зерна з 20 до 14 % складає 2,8 т/год. Робочі органи приводяться в дію електродвигунами сумарною потужністю 38 кВт. Питома витрата умовного палива 12,8 кг/т.

Технологічна схема барабанної зерносушарки СЗСБ-8А представлена на рисунку 1.11. На схемі показано рухи продукту через робочий простір зерносушарки, від завантажувальної камери до камери вивантаження просушеного продукту.

Пересувна барабанна сушарка СЗПБ-2,5, забезпечена ходовими колесами, може переміщатися з одного місця на інше. Її пристрій, призначення аналогічно

сушарці СЗСБ-8А. Охолоджувальна колонка виконана як сушильний барабан, але в неї подається холодне повітря.

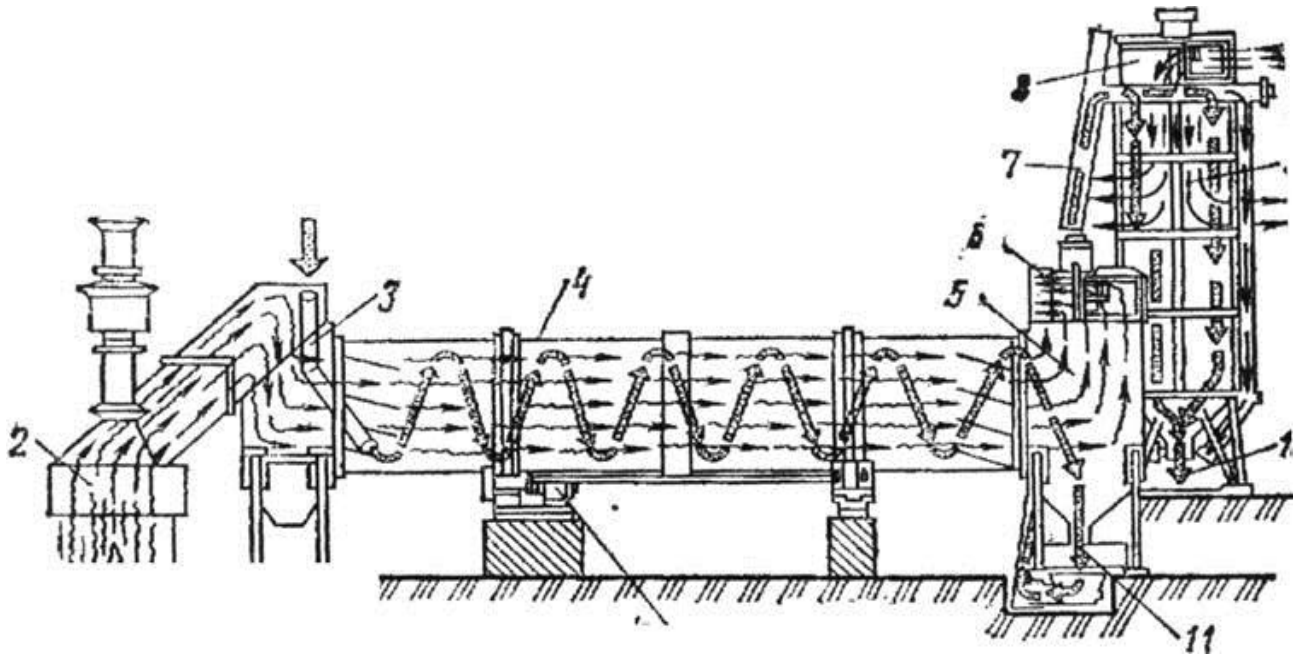


Рисунок 1.11. Технологічна схема зерносушарки СЗСБ-8:

- 1 – топка, 2 – коробка змішувача, 3 – завантажувальна камера, 4 – барабан,
 5 – завантажувальна камера, 6 і 8 – вентилятори, 7 – транспортер,
 9 – охолоджувальна колонка, 10 – вихід сухого зерна, 11 – шлюзовий затвор,
 12 – привід барабана.

Таблиця 1.2. Технічні характеристики барабанної сушарки СЗСБ-8

Продуктивність по висушеному зерну G	2826 кг/год
Вологість зерна	
початкова W ₁ ,%	20%
кінцева W ₂ ,%	14%
Насипна густина зерна ρ _н , кг/м ³	750
Температура сушильного агента	
на вході t ₁ , °C	250
на виході t ₂ , °C	90
Теплоємність висушеного зерна C _м , кДж/кг-град	2,39
Теплові витрати (прийняті від загального розходу тепла),	5 %
Температура висушеного зерна	80°C
поступаючого зерна	20°C

1.6. Мета і основні задачі магістерської роботи

Необхідною умовою розвитку харчової галузі є вдосконалення технологічного обладнання, що спрямоване як на підвищення ефективності обробки сировини так і на зменшення експлуатаційних витрат

На основі аналізу технологічного процесу сушіння зерна можна зробити висновок, що найбільш витратним з точки зору енергоресурсів є процес сушіння.

Метою магістерської роботи є зменшення енерговитрат при сушінні зерна на барабанній сушарці.

Основні задачі магістерської роботи:

- провести аналіз технологічного процесу сушіння зерна ;
- провести аналіз обладнання для сушіння зерна;
- запропонувати шляхи удосконалення обладнання для сушіння зерна;
- дослідити дисперсний склад зерна пшениці;
- дослідити тепло-масообмін при сушінні зерна в барабані сушарки;

- провести конструювання та розрахунок барабанної сушарки марки СЗСБ-8А;
- розробити заходи з охорони довкілля;
- провести розрахунок економічної ефективності.

2. Методи досліджень

2.1 Методика дослідження гранулометричного складу зерна

За допомогою ситового аналізу пробу зерна розділяли на декілька фракцій, шляхом просіювання наважки через набір сит з різними діаметрами (рис. 2.1.).



Рисунок 2.1. Сита.

При визначенні дисперсного складу зерна пшениці використовували шість сит.

Ситовий аналіз для визначення ступеня дисперсності проводили в наступному порядку: пробу зерна масою 955 г. поміщали на сито з найбільшими розмірами отворів. Зерно, що пройшло через сито поступає на наступне, дрібніше сито і так до останнього – найдрібнішого. Сита розміщували одне над одним і розділяли проби за одну операцію.

Результати представили у вигляді диференційної кривої розподілу, або інтегральної кривої розподілу.

Фракція представлена на графіку точкою, відповідає середній товщині зерна в ній, що була визначена як середнє арифметичне значення між розмірами отворів двох сусідніх сит.

Середній розмір товщину зерен визначали як середньоарифметичний діаметр d_{cp} :

$$d_{cp} = m_1 d_1 + m_2 d_2 + \dots + m_n d_n = \sum m_i d_i$$

де m_1, m_2, m_n - вміст кожної фракції в пробі зерна;

d_1, d_2, d_n – середня товщина зерен фракцій;

i - число фракцій зерна.

Наважку зерна пшениці загальною масою 955 г. насипали на верхнє сито, закривали кришкою і закріплюють гвинтами на столику установки механічного розсіву (рис. 2.2). Включали електродвигун та проводили просіювання зерна на протязі 15-20 хв. Після закінчення операції кожну фракцію з відповідного сита зважували.



Рисунок 2.2. Установка механічного розсіву

Процентний вміст зерен у фракції визначали із наступного співвідношення:

$$G_i/G_0 \cdot 100,$$

де G_i – маса зерна на ситі;

G_0 – сумарна маса всіх фракцій зерна.

2.2. Опис експериментального стенду для дослідження процесу теплообміну

Експериментальна установка для сушіння являла собою циркуляційний контур. У якості сушильного агента використовували повітря, яке підігрівали електричним калорифером 1 (рис. 2.3.), що під'єднаний до циркулярного контуру в його нижній горизонтальній частині.

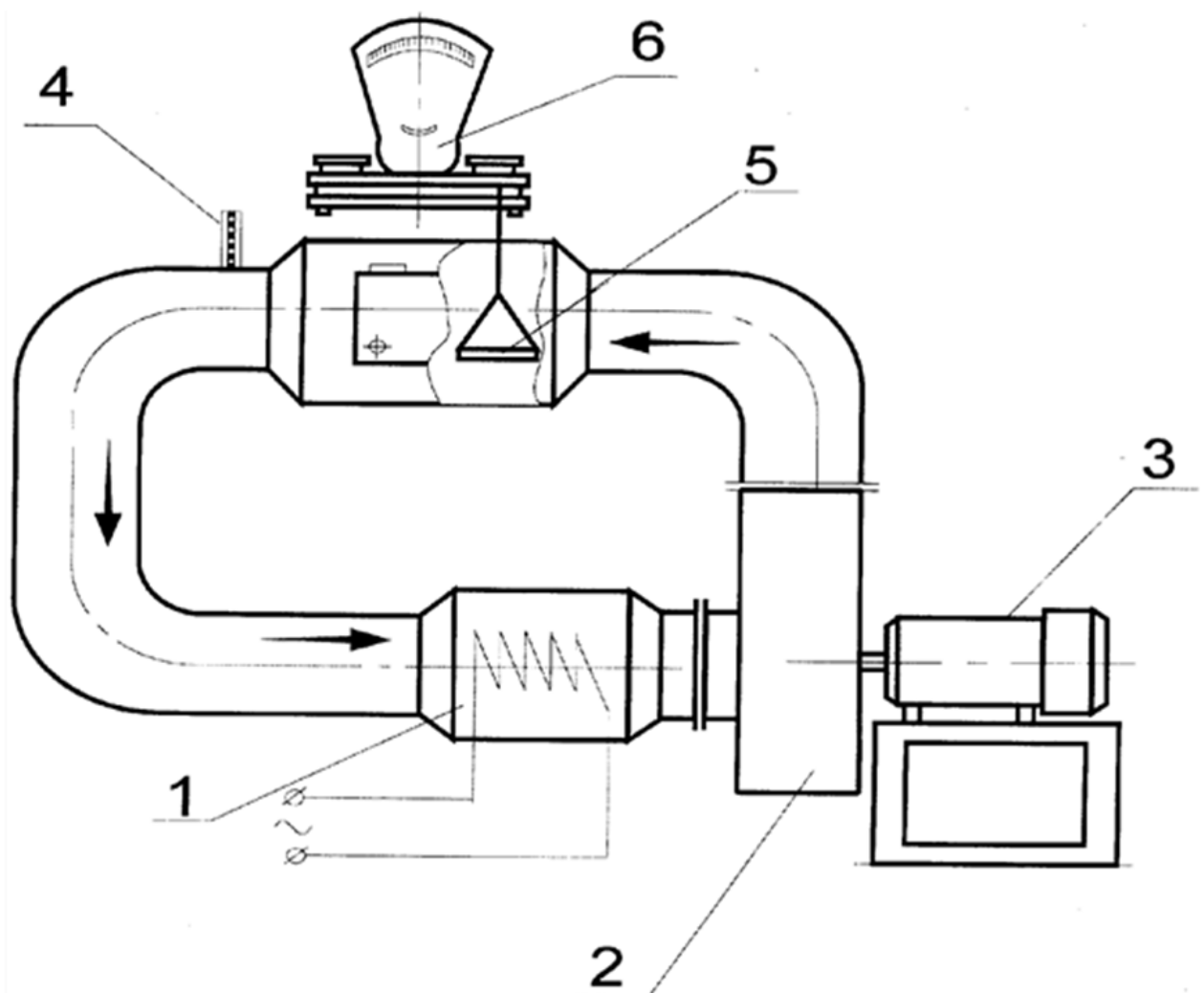


Рисунок 2.3. Схема експериментальної установки:

1-електрокалорифер; 2-вентилятор; 3-електродвигун; 4-цифровий термометр; 5-кошик для матеріалу; 6-вага.

Циркуляцію повітря в контурі створює за допомогою вентилятора 2, що обертався від електродвигуна 3. Температуру повітря в сушарці вимірювали за допомогою цифрового термометра 4.

Зміну ваги матеріалу в процесі сушіння фіксували наступним чином: вологий матеріал поміщали у коробчастий кошик 5, що зеднувався із вагами які фіксували значення.

Перед початком роботи установку нагрівали протягом 10 хв до встановлення стаціонарного режиму, ввімкнувши електронагрівники калорифера.

Після нагрівання установки калорифер вимикали, відчиняли люк сушильної камери і завантажують у кошик 100-200 г зерна. Потім люк зачиняють, вмикають електродвигун і калорифер.

Інтервали між замірами становили 5 хв.

Зниження ваги вологи визначали як різницю маси наважки зерна у попередньому і даному дослідах (оскільки маса сухої речовини завжди залишається незмінною). Маса вологи визначали як різницю між загальною масою вологи та її зменшенням в даному досліді.

Вологість зерна визначали як відношення маси вологи до загальної маси зерна:

$$W = \frac{m_B}{m_3} 100\%,$$

де W – вологість зерна, %;

m_B – маса вологи, кг;

m_3 – загальна маса зерна, кг.

2.3. Стандартизовані методи досліджень

При виконанні роботи також використовувалися загальновідомі та стандартизовані методи досліджень та вимірювань. Дані методи представлені у вигляді таблиці 3.1.

Таблиця 2.1. Стандартизовані методи досліджень

№ з/п	Назва аналізу	Назва методу і прилади	Межі і похибка вим.	Посилання
1	2	3	4	5
1.	Визначення маси	Зважування. Ваги лабораторні марки ВК-300	0,0002- 0,3 кг ± 0,01 г	ГОСТ 24104-88
3.	Визначення вмісту вологи	Висушування навіски при температурі 102°C. Сушильна шафа СП-50, ваги марки ВК-300	0,0002- 0,3 кг ± 0,01 г	ГОСТ 3626-73
5.	Вимірювання температури	Контактний метод вимірювання за допомогою цифрового термометра	0-50°C ±1°C	ГОСТ 26754-85

3. Дослідження тепло-масообміну під час роботи барабанної сушарки

3.1. Визначення дисперсного складу продукту сушіння

У процесі сушіння важливу роль відіграє площа поверхні контакту матеріалу із сушильним агентом. При роботі барабанної сушарки матеріал, що підлягає сушінню рівномірно розподіляється та створюються умови, коли практично, кожне зерно переміщається відносно сусідніх зерен. В такому випадку площа контакту фаз визначається виключно розмірами самих зерен.

Тому було визначено дисперсний склад зерна пшениці, із використанням ситового аналізу.

Отримані дані представили у вигляді нижче (Табл. 3.1)

Таблиця 3.1. Результати ситового аналізу зерна

Середня товщина зерна на ситі, мм	Вміст зерна у фракції		Інтегральні характеристики			
			Залишок на ситі		Прохід через сито	
	г	%	г	%	г	%
1,5	90	9,4	90	9,4	865	90,6
2,0	240	22,1	330	34,6	625	65,5
2,5	255	26,7	585	61,3	370	38,7
3,0	280	29,3	865	90,6	90	9,4
3,5	80	8,4	945	99	10	1,05
4,0	10	1,05	955	100		
Разом	955	100%				

На основі проведених вимірювань дисперсного складу зерна пшениці побудували диференційну криву розподілу, яка показує процентний вміст окремих фракцій зерна в матеріалі (рис. 3.1.).

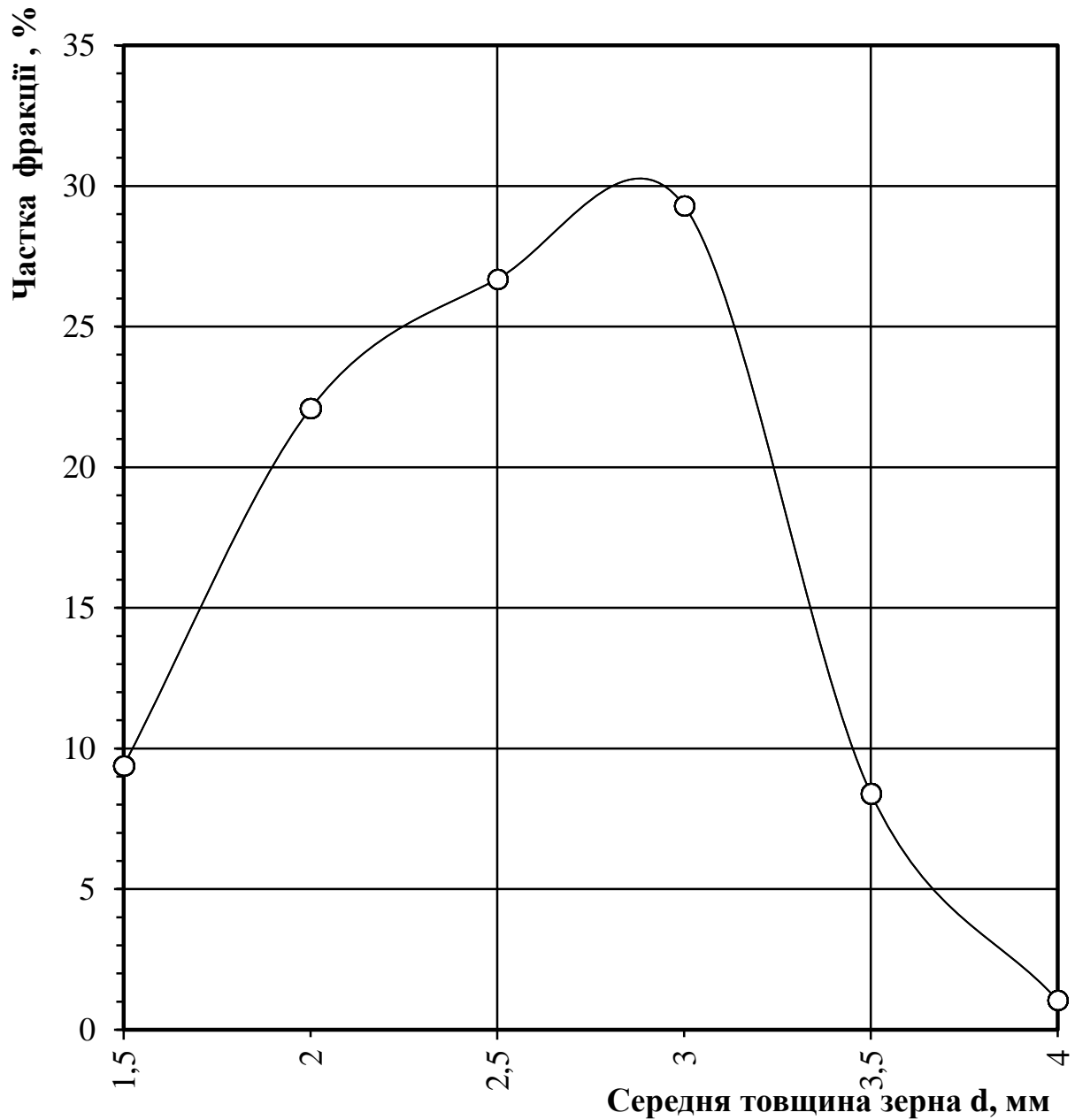


Рисунок 3.1. Диференційна крива розподілу зерна

Встановили, що товщина зерна становить від 1,5 до 4,0 мм. Найбільша частка зерна відповідає фракції з середньою товщиною 3,0 мм, вона становить 29% від загальної маси.

Також використовуючи отримані дані ситового аналізу побудували інтегральну криву розподілу зерна, що показує сумарний процентний вміст фракцій зерна пшениці, що є меншим або більшим від конкретного розміру (рис. 3.2.).

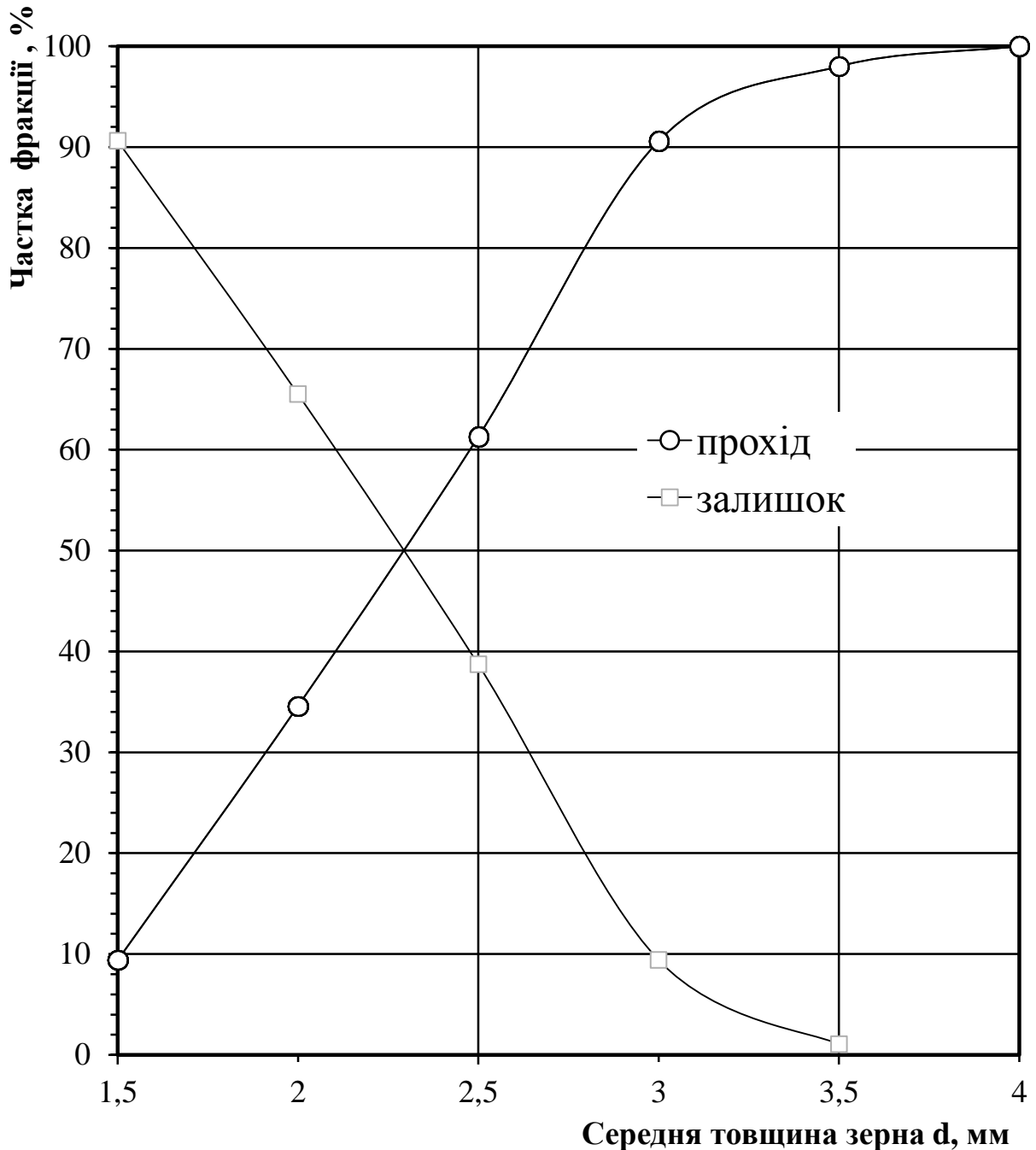


Рисунок 3.2. Інтегральна крива розподілу зерна

3.2. Дослідження теплообміну, що відбувається між матеріалом та сушильним агентом при роботі барабанної сушарки.

Досліджено зміну температури сушильного агента та матеріалу по довжині барабану сушарки при проточній компоновці. Результати досліджень представлені у вигляді графіка на рисунку 3.3.

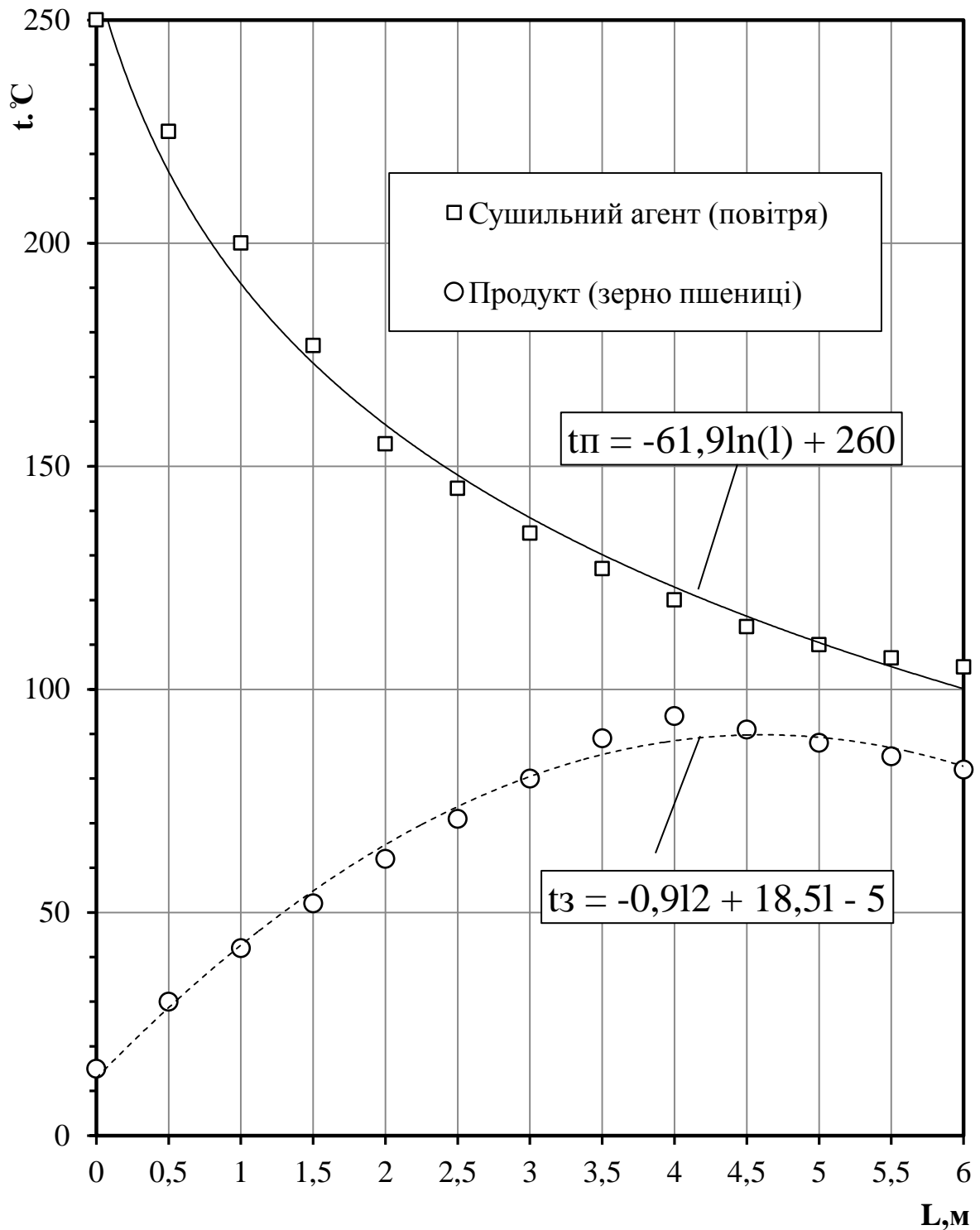


Рис. 3.3. Зміна температури сушильного агента та матеріалу (зерна пшениці) по довжині барабанної сушарки

З рисунка помітно, що у першій половині довжини барабану відбувається стрімке зниження температури сушильного агента, це одночасно пов'язано із великою різницею температур між матеріалом та сушильним агентом та із інтенсивним випаровуванням вологи. Нагрівання зерна також має інтенсивний характер лише у першій половині довжини барабану. Це відбувається, оскільки продукт та сушильний агент рухаються в одному напрямку, тобто тому, що дана сушарка є прямою. Тому інтенсивна зміна температури зерна та повітря на початку процесу сушіння пов'язано із великим значенням рушійної сили – різниці температур.

На відмітці довжини барабану 4,0 м (тобто 2/3 від його довжини) зростання температури зерна припиняється і вона починає поступово знижуватися. Очевидно, що цей ефект пояснюється інтенсифікацією процесу випаровування вологи, який, як відомо, відбувається із поглинанням теплоти.

Чим більша площа поверхні матеріалу, тим швидше відбувається теплообмін із сушильним матеріалом.

Отримали математичний вираз, який дозволяє визначити значення температури сушильного агента на різних ділянках довжини барабану сушарки:

$$t_{\text{п}} = -61,9 \ln(l) + 260$$

де $t_{\text{п}}$ – температура сушильного агента, °C;

l – довжина барабану сушарки, м.

Також побудували рівняння, що описує зміну температури зерна під час його переміщення вздовж барабана сушарки:

$$t_{\text{з}} = -0,9l^2 + 18,5l - 5$$

Крім цього були проведені дослідження зміни вологості зерна при переміщенні вздовж барабану.

Початкова вологість зерна на вході в сушарку становила 20%. При переміщенні зерна вздовж барабану сушарки його вологість поступово знижувалася і на виході становила 13,8 %. На рисунку 3.4. представлено отриману графічну залежність.

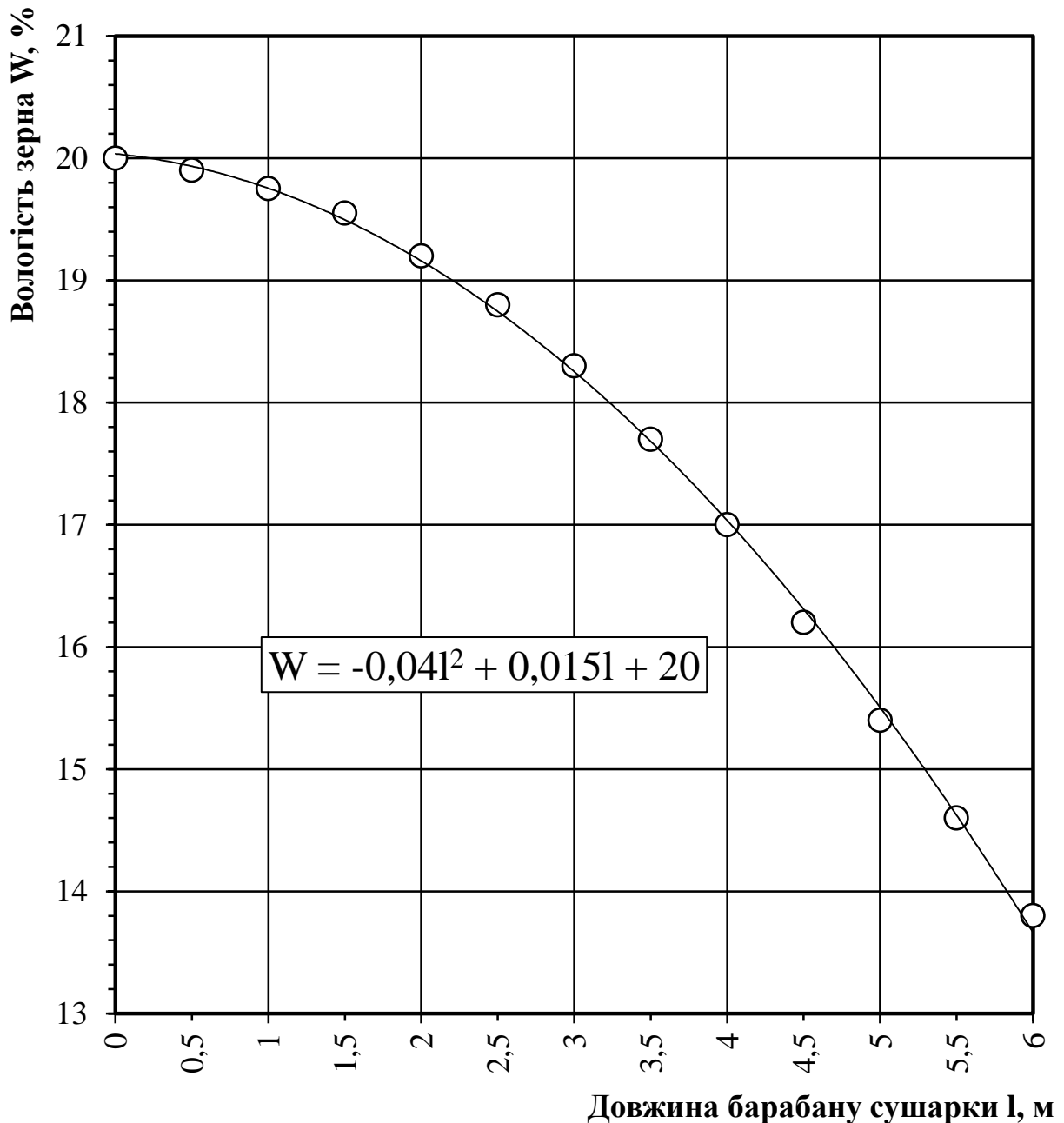


Рис. 3.4. Зміна вологості зерна пшениці під час його переміщення вздовж барабану сушарки

Також отримали математичну залежність для визначення вологості зерна на будь-якій ділянці барабану сушарки:

$$W = -0,04l^2 + 0,015l + 20$$

де l – довжина барабану сушарки.

З точки зору перебігу процесу сушіння зерна на барабанній сушарці, представляє інтерес визначення швидкості сушіння на різних ділянках барабану. Дослідили зміну швидкості сушіння зерна при його русі вздовж барабану (рис. 3.5).



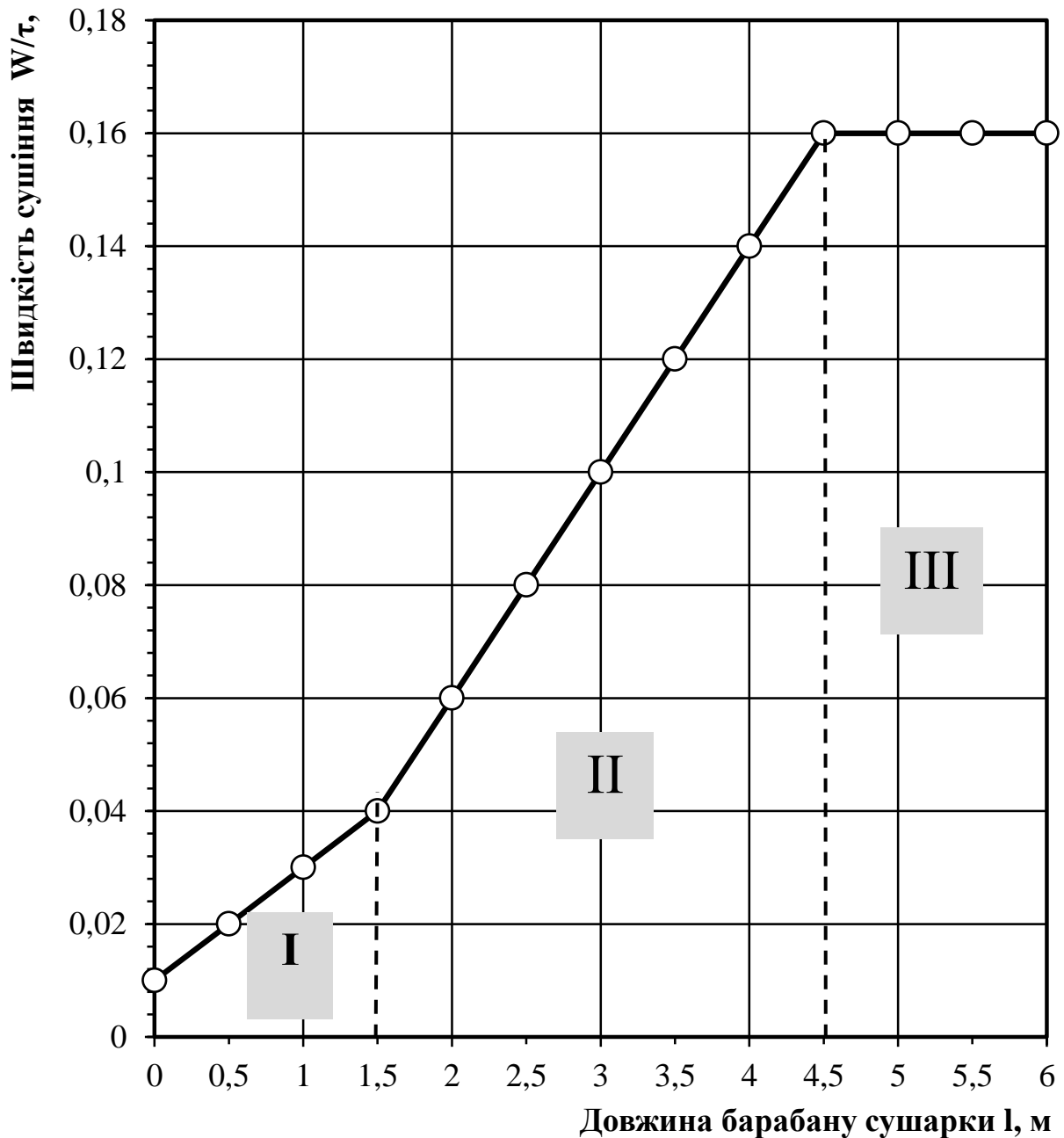


Рисунок 3.5. Зміна швидкості сушіння зерна по довжині барабану сушарки

Аналізуючи отриману графічну залежність можна відмітити, що вона складається із трьох ділянок:

I ділянка. Помірне зростання швидкості сушіння. Даний етап характеризується тим, що зерно, ще достатньо не прогрілося.

II ділянка. Відбувається стрімке зростання швидкості сушіння. Має місце

збільшення площі взаємодії фаз.

III ділянка. Стационарний режим сушіння. Швидкість сушіння не змінюється в часі.

3.3. Моделювання переміщення зерна пшениці під час його сушіння у барабані сушарки

Виконано комп'ютерне моделювання переміщення зерна у січєні барабану сушарки в процесі її роботи.

Отримана модель дозволяє встановити значення температури зерна у будь-який момент його сушіння.

На рисунку 3.6. представлено переріз барабану сушарки у момент часу, що відповідає початку її роботи.

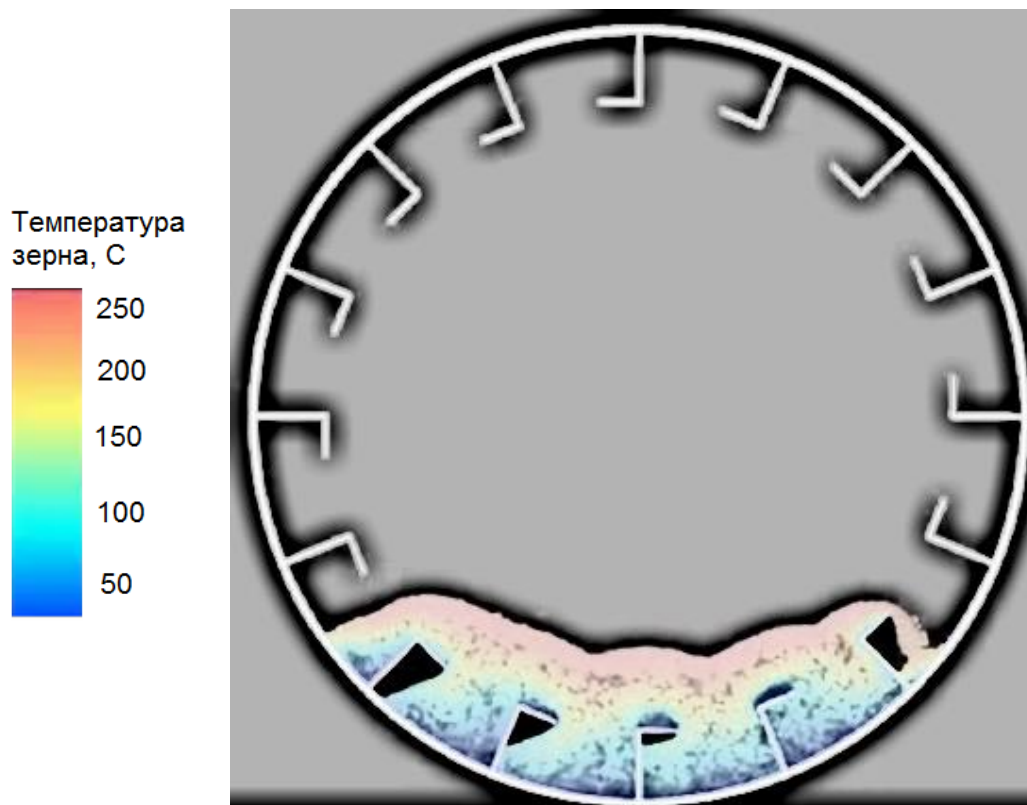


Рисунок 3.6. Модель перерізу барабану сушарки.

Тривалість процесу сушіння 0 с.

На даній стадії процесу сушіння, в результаті відсутності обертання барабана, спостерігається мінімальна площа контакту між сушильним агентом (гарячим повітрям) та продуктом (зерном пшениці). В результаті дифузія вологи практично відсутня. Середня температура зерна не перевищує 30 °С. Весь матеріал розміщується в нижній частині барабана.

Через 4 с. після початку обертання барабана (рис. 3.7.) температурне поле зерна практично не змінюється – матеріал обертається разом із лопатками барабану, переміщення одних шарів зерна відносно інших мінімальне. Середня температура зерна не перевищує 35 °С.

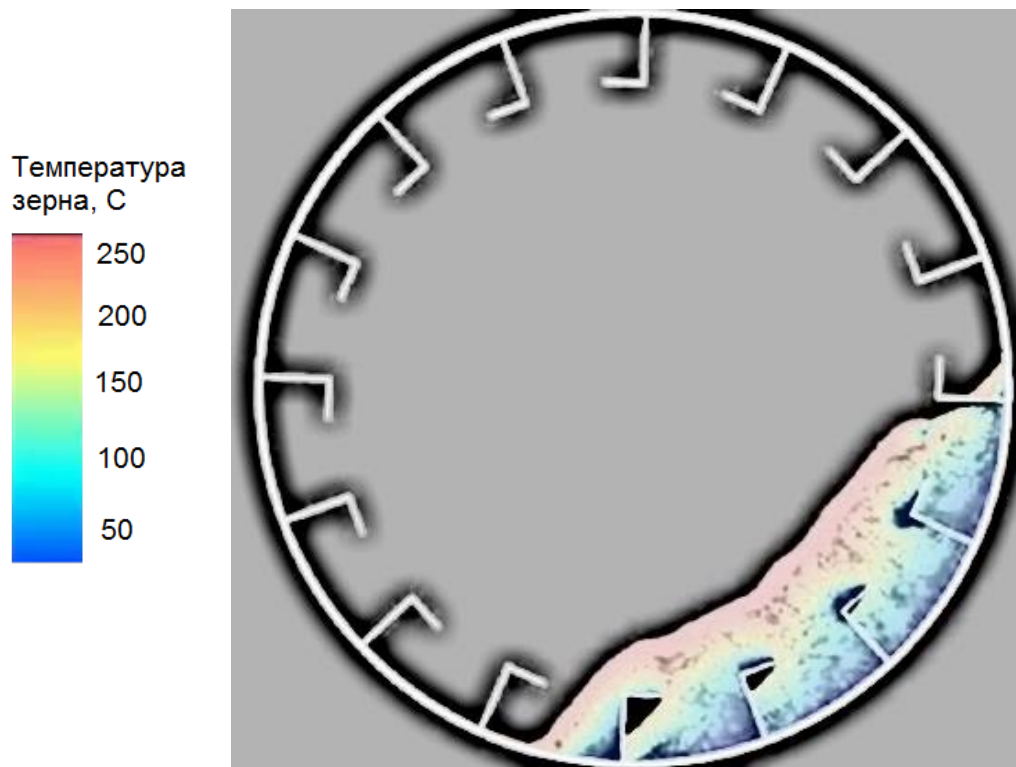


Рисунок 3.7 Модель перерізу барабану сушарки.

Тривалість процесу сушіння складає 4 с.

Близько 8-ї секунди роботи сушарки (рис. 3.8) починається активне переміщення одних шарів зерна відносно інших, площа взаємодії фаз починає зростати. Нагрітий за попередні 8 секунд верхній шар зерна зісковзує в нижню частину барабану і поступово присипається більш холодним зерном.

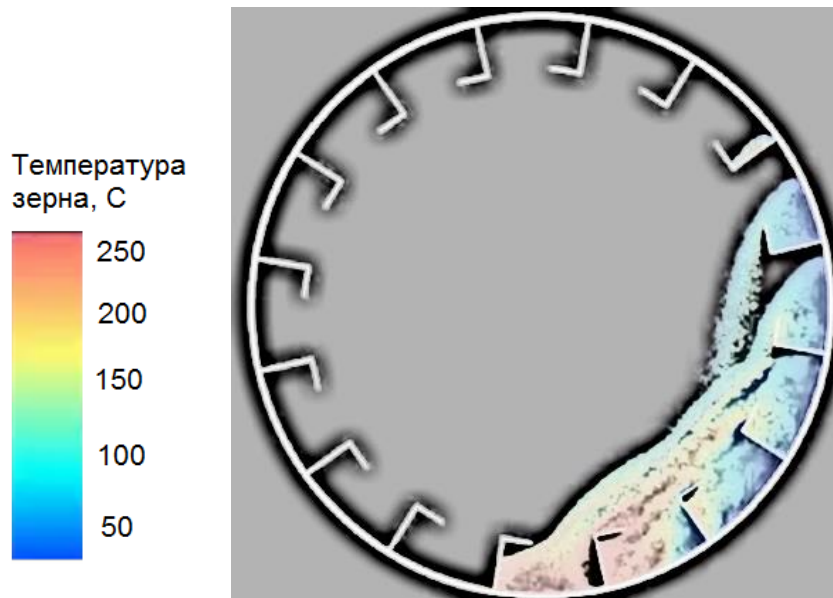


Рисунок 3.8 Модель перерізу барабану сушарки.

Тривалість процесу сушіння складає 8 с.

На рисунку 39. Представлено модель січення барабана сушарки на 10-ій секунді від початку його обертання. Саме на цьому етапі починають утворюватися окремі струмені зерна, що спадає з лопаток які досягли верхньої частини барабана. Це призводить до інтенсивного зростання площі контакту зерна та сушильного агента і, як наслідок – температури зерна.

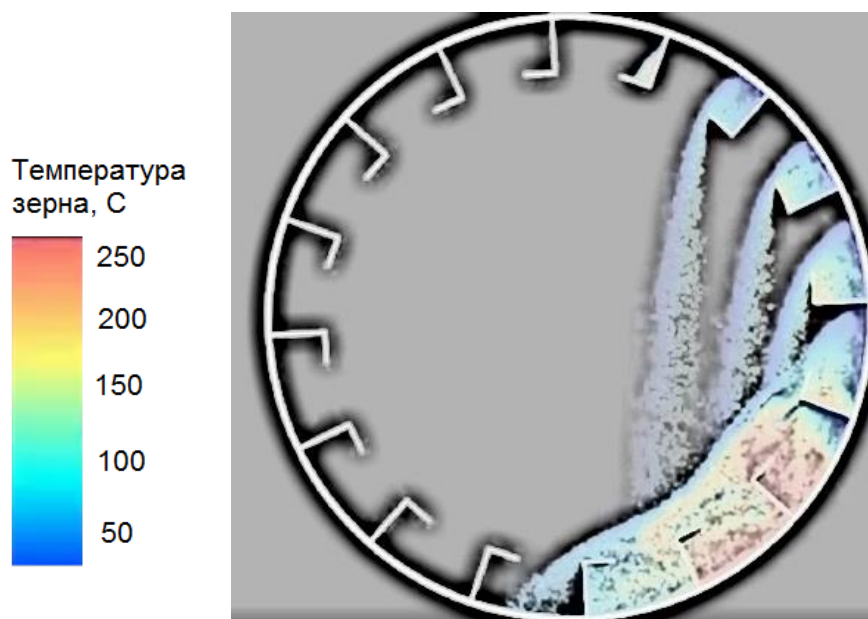


Рисунок 3.9 Модель перерізу барабану сушарки.

Тривалість процесу сушіння складає 10 с.

При тривалості обертання 12 та 15 с. зерно заповнює 30% та 40% січення барабана (рис. 3.10, 3.11.).

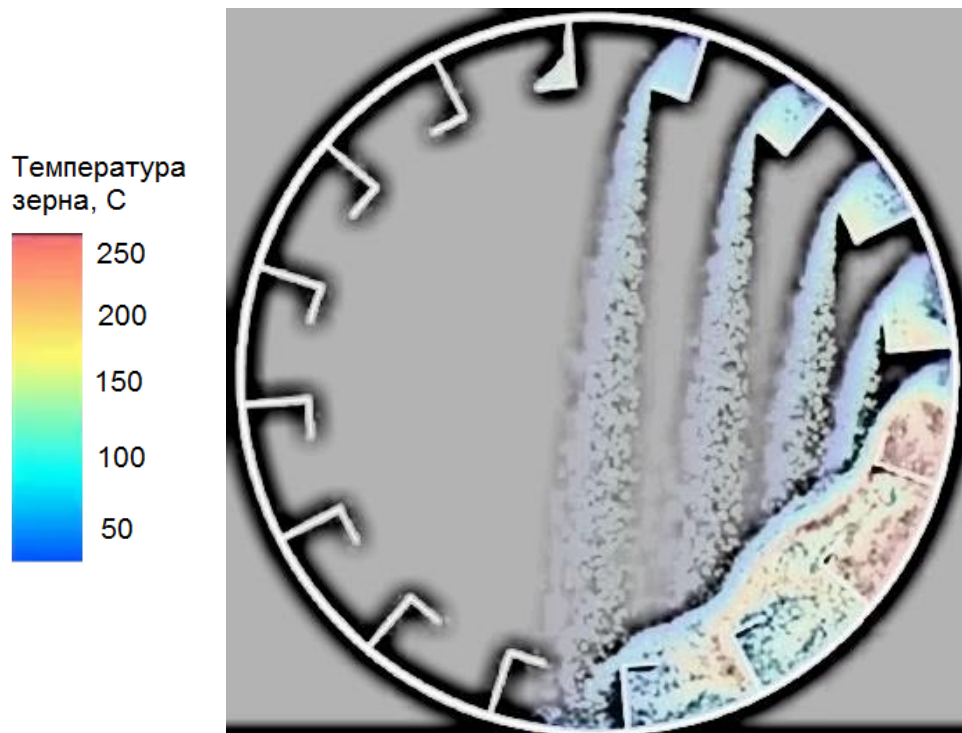


Рисунок 3.10 Модель перерізу барабану сушарки.

Тривалість процесу сушіння складає 12 с.

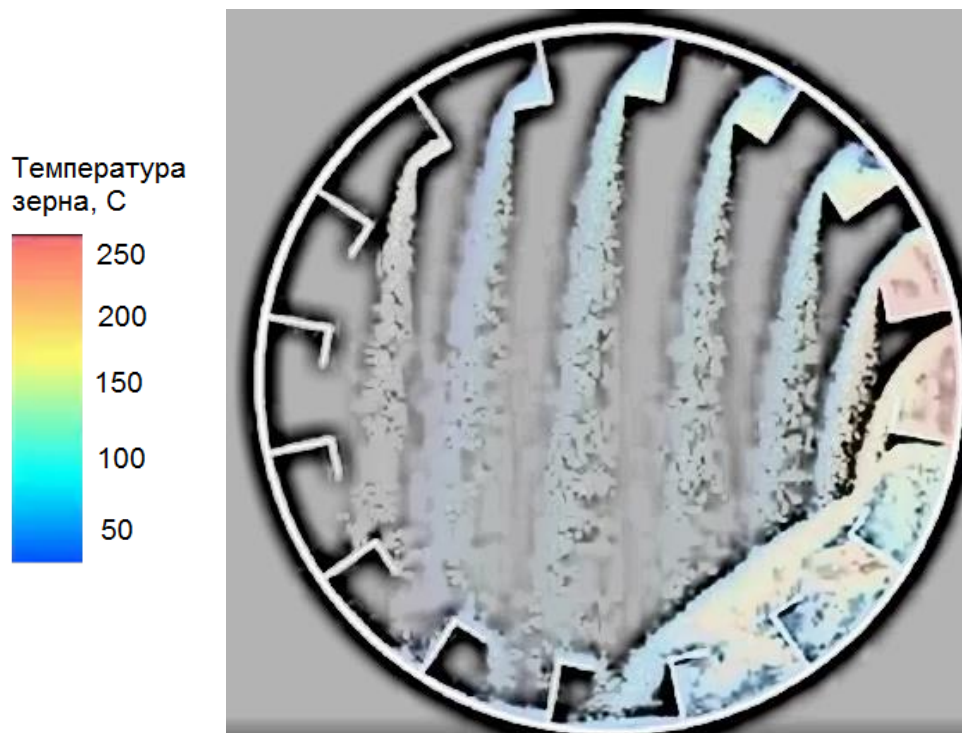


Рисунок 3.11 Модель перерізу барабану сушарки.

Тривалість процесу сушіння складає 15 с.

Заповнення усього січення барабану зерном відбувається на 18-ій секунді роботи (рис. 3.12). Саме в цей момент створюється стаціонарний режим роботи сушарки. Площа поверхні контакту сушильного агента та зерна набуває максимального значення для даної конструкції барабану.



Рисунок 3.12 Модель перерізу барабану сушарки.

Тривалість процесу сушіння складає 18 с.

Проте на рисунку 3.12 помітно, що навіть при стаціонарному режимі січення барабану не заповнене зерном на 100%. Це обумовлюється конструктивними особливостями лопаток барабану. Вони призначені для

рівномірного розподілення матеріалу в барабані, але в той самий час лопатки закривають собою частину простору.

3.4. Зменшення енергоємності процесу сушіння зерна на барабанній сушарці

Процес сушіння зерна характеризується великими затратами енергії.

Одним із шляхів зниження даної енергоємності є створення умов для збільшення швидкості сушіння. При роботі барабанної сушарки швидкість сушіння залежить від наступних параметрів:

- площа контакту сушильного агенту та зерна (в свою чергу залежить від частоти обертання барабану, дисперсних характеристик зерна, конструкції барабану);
- швидкість руху сушильного агенту вздовж барабану.

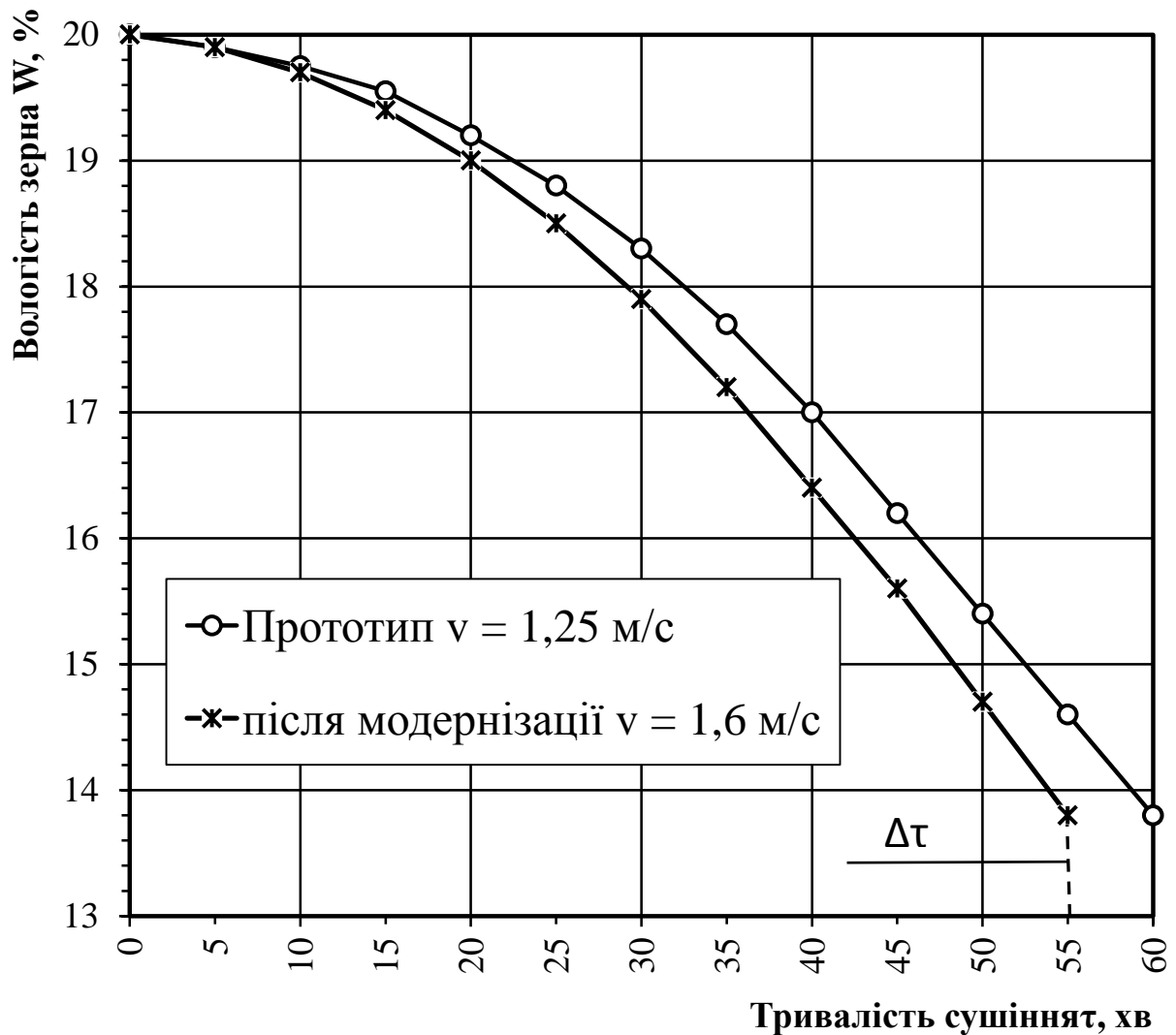


Рисунок. 3.13. Залежність вологості зерна від тривалості процесу сушіння при швидкості руху сушильного агента 1,25 та 1,6 м/с.

Проведено дослідження залежності вологості зерна від тривалості процесу сушіння при різних значеннях швидкості руху сушильного агента. Встановили, що при швидкості руху сушильного агента 1,6 м/с досягнення необхідної вологості зерна відбувається на за 55 хв роботи сушарки (рис. 3.13), що на 5 хв менше ніж заданій швидкості руху сушильного агента – 1,25 м/с.

Таким чином з метою зниження енергозатрат на процес сушіння зерна в барабанній сушарці доцільно встановити швидкість руху сушильного агента 1,6 м/с.

3.5. Висновки до розділу

Встановили дисперсний склад продукту сушіння – зерна пшениці. Найбільша частка зерна відповідає фракції з середньою товщиною 3,0 мм, вона становить 29% від загальної маси.

Дослідження зміни швидкості сушіння по довжині барабану встановили, що тепло- масообмінний процес, що відбувається всередині барабану можна умовно розбити на три ділянки: прогрів зерна; зростання площі взаємодії зерна та сушильного агенту; стаціонарний процес сушіння зерна.

Встановили, що при швидкості руху сушильного агенту 1,6 м/с досягнення необхідної вологості зерна відбувається на 5 хв раніше ніж при заданій швидкості руху сушильного агенту (1,25 м/с).

4. Розрахунок та конструювання барабанної сушарки

4.1. Розрахунок необхідних параметрів роботи барабанної сушарки для зерна

Вихідні дані для розрахунку барабанної сушарки представлено у вигляді таблиці 4.1.

Таблиця 4.1.

Продуктивність по висушеному зерну G	2826 кг/год
Вологість зерна	
початкова W ₁ ,%	20%
кінцева W ₂ ,%	14%
Насипна густина зерна ρ _н , кг/м ³	750
Температура сушильного агента	
на вході t ₁ , °C	250
на виході t ₂ , °C	90
Теплоємність висушеного зерна С _м , кДж/кг-град	2,39
Теплові витрати (прийняті від загального розходу тепла),	5 %
Температура висушеного зерна	80°C
поступаючого зерна	20°C

4.1.1. Тепловий розрахунок сушарки

Визначимо продуктивність сушарки по висушеному продукту.

Масу висушеного зерна можна визначити за наступною формулою:

$$G_k = G_{сух} \cdot \frac{100}{100 - u_2}, \text{ кг/год};$$

де G_k – кількість сухого матеріалу, кг/год;

u_2 – канцева вологість, %.

$$G_k = 2600 \cdot \frac{100}{100 - 0,6} = 2616, \text{ кг/год.}$$

Визначимо масу вологи, що випаровується в процесі сушіння зерна:

$$W = G_i \cdot \frac{u_1 - u_2}{100 - u_2}, \text{ кг/ГОД.}$$

$$W = 2826 \cdot \frac{8 - 0,6}{100 - 0,6} = 210, \text{ кг/ГОД.}$$

Визначимо такі параметри вологого сушильного агента як x_0, I_0, I_1 , при $t_0 = 15^\circ \text{C}$.

Степінь сухості пари сушильного агента за формулою:

$$x_0 = 0,622 \cdot \frac{\varphi_0 \cdot P_{\text{нас}}}{P - \varphi_0 \cdot P_{\text{нас}}}$$

де $\varphi_0 = 75\%$ - відносна вологість сушильного агента;

$P = 745 \text{ мм.рт.ст.}$ - атмосферний тиск.

$$x_1 = 0,622 \cdot \frac{0,75 \cdot 0,0167}{1 - 0,75 \cdot 0,0167} = 0,0079 \text{ кг/кг}$$

Ентальпія сушильного агента:

$$I_1 = c_r t_1 + (r_0 + c_{\text{п}} t_1) x_1$$

$$I_{\text{пк}} = r_0 + c_{\text{п}} t_2$$

$$I_1 = (2493 + 1,97 \cdot 10^3 \cdot 160) \cdot 0,0079 + 1,015 \cdot 160 = 18,4 \cdot 10^4 \text{ Дж/кг}$$

$$I_{\text{пк}} = 2493 + 1,972 \cdot 60 = 261,1 \cdot 10^4 \text{ Дж/кг}$$

$$\Delta = c_b \cdot t'_m - (q_m - q_{\text{п}})$$

Витрата тепла:

$$q_m = \frac{G_2 \cdot c_m \cdot (t''_m - t'_m)}{W}$$

де $c_m = 1640$ – питома теплоємність зерна;

t''_m, t'_m - температури зарна на початку та у кінці сушіння.

$$q_m = \frac{4498,77 \cdot 1,640 \cdot (70 - 16)}{0,0079} = 0,0438 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг вологи.}$$

$$q_{\text{пол}} = I_{\text{вп}} - c_v \cdot t'_m + q_m$$

де $I_{\text{вп}} = 2608,3 \cdot 10^3$ Дж/кг значення ентальпії пари у повітрі при $t_2 = 60^\circ\text{C}$

За таких умов:

$$q_n = 0,08 \cdot (2608,3 \cdot 10^3 - 4190 \cdot 16 + 0,0438 \cdot 10^6) = 2,07 \cdot 10^5 \text{ Дж/кг.}$$

$$\Delta = 4190 \cdot 16 - (0,0438 \cdot 10^6 + 2,07 \cdot 10^5) = -0,018376 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг.}$$

Характеристики відпрацьованого сушильного агента визначимо із виразу:

$$\frac{I_2 - I_1}{x_2 - x_0} = \Delta$$

$$I = I_1 + \Delta \times (x - x_1)$$

Побудуємо на H-d діаграмі робочу лінію сушіння (рис. 4.1.), для цього проведемо лінію з точки 1 з координатами $x_1 = 0,079$ (кг/кг) та $I_1 = 184,6$ (кДж/кг) до точки, що відповідає значенню ентальпії:

$$I = 184,6 + (-18,376) \cdot (0,1 - 0,079) = 184,2.$$

Із отриманої точки на перетиті лінія сушіння з ізотермою t знаходимо параметри вологого сушильного агента на виході: $x_2 = 0,0925$ (кг/кг), $I_2 = 450$ (кДж/кг)

Визначимо витрату сухого сушильного агента:

$$L = \frac{W}{x_2 - x_0},$$

$$L = 210 / (0,0925 - 0,079) = 1,6 \cdot 10^3 \text{ кг/год}$$

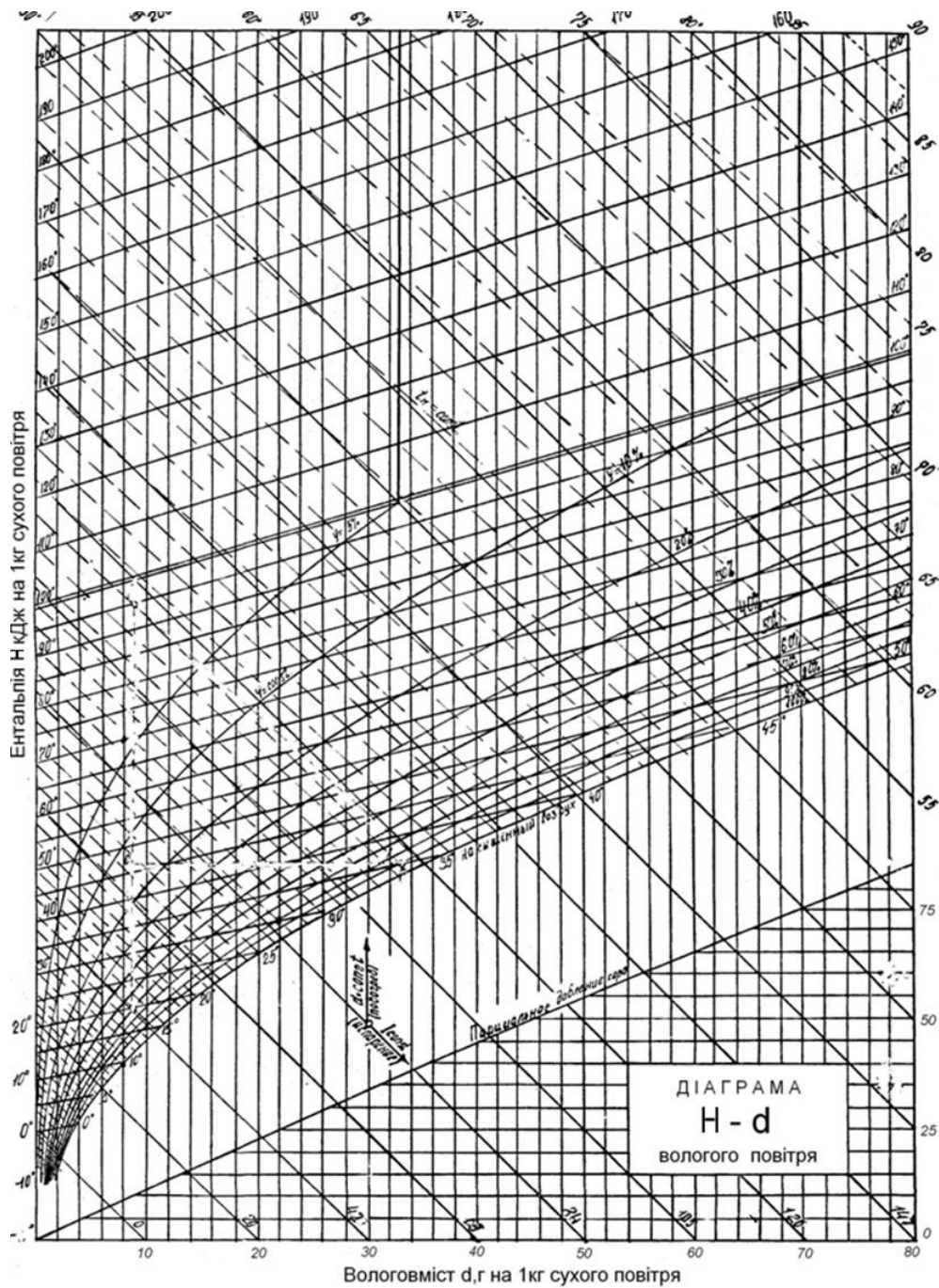


Рисунок 4.1. H-d діаграма вологого сушильного агента

Вологість відпрацьованого сушильного агенту:

$$\varphi_2 = \frac{x_2 \cdot P}{(0,622 + x_2) \cdot \rho_{H_2O}}$$

$$\varphi_2 = \frac{0,0925 \cdot 745 \cdot 133,3}{(0,622 + 0,0925) \cdot 0,2038 \cdot 9,81 \cdot 10^4} = 0,643\%$$

Питома витрата сушильного агента:

$$l = \frac{1}{x_2 - x_0} = \frac{1}{0,0925 - 0,079} = 74 \text{ кг/кг}$$

Необхідна кількість тепло в калорифері:

$$Q = L \cdot (I_1 - I_0) = 15555 \cdot (18,4 \cdot 10^4 - 4,9 \cdot 10^4) = 21 \cdot 10^8 \text{ Дж/кг}$$

4.2. Конструктивний розрахунок сушарки

4.2.1. Розрахунок розмірів барабану

Розрахунку діаметра барабану передуює визначення секундного розходу сушильного агента на виході із барабану. Питомий об'єм вологого сушильного агента можна визначити за формулою:

$$v = \frac{288 \cdot T_2}{P - \varphi_2 \cdot \rho_{н2}} = \frac{288 \cdot (60 + 273)}{745 \cdot 133,3 - 0,643 \cdot 0,2031 \cdot 9,81 \cdot 10^4} = 1,01 \text{ м}^3/\text{кг}$$

Тоді секундний розхід сушильного агента визначимо із наступного виразу:

$$V = \frac{1,01 \cdot 15555}{3600} = 4,36 \text{ м}^3/\text{с.}$$

Діаметр барабану становитиме:

$$D_6 = \sqrt{\frac{V}{0,785 \cdot \omega \cdot (1 - \beta)}} = \sqrt{\frac{4,34}{0,785 \cdot 1,26 \cdot (1 - 0,15)}} = 2,27 \text{ м}$$

де $\omega = 1,25$ – швидкість руху сушильного агента на виході з барабану, м/с;

$\beta = 0,15\%$ – коефіцієнт, що вказує на частку заповнення барабану.

Прийmemo діаметр барабану $D_6 = 2,3 \text{ м}$

Визначимо також довжину барабану із виразу:

$$L = \frac{V_6}{0,785 \cdot D_6^2}$$

Підставивши відповідні значення:

$$V_{\sigma} = \frac{W}{A} = \frac{210}{8} = 26,25 \text{ м}^3$$

де $A = 8$ – продуктивність барабану за вологою, $\text{кг}/(\text{м}^3 \cdot \text{ч})$.

Тоді отримаємо:

$$L = \frac{26,25}{0,785 \cdot 2,3^2} = 6,3 \text{ м}$$

Приймемо довжину барабану $L = 6 \text{ м}$.

4.2.1 Визначення тривалості сушіння зерна

Необхідний час перебування зерна в барабані залежить від його маси, густини:

$$\tau = \frac{V_{\sigma} \cdot \rho_n \cdot \beta}{G_{cp}}$$

де $\rho_n = 750 \text{ кг}/\text{м}^3$ – насипна густина зерна;

$$\sigma = 0,053$$

G_{cp} – маса зерна, що проходить крізь сушарку.

$$G_{cp} = \frac{G_1 + G_2}{2 \cdot 3600} = \frac{2600 + 2826}{2 \cdot 3600} = 0,75 \text{ кг}/\text{с}$$

$$\tau = \frac{26,25 \cdot 750 \cdot 0,15}{0,7536} = 3650 \text{ с}$$

Тобто тривалість сушіння (час перебування зерна в барабані сушарки) становить 1 годину.

4.2.3 Визначення частоти обертання барабану сушарки

Значення необхідної частоти обертання барабану залежить від триволості сушіння, кута нахилу барабану а також та від його (від виду насадки). Частоту обертання барабану можна визначити із виразу, який враховує перелічені параметри:

$$n = \frac{L}{a \cdot \tau \cdot D \cdot \operatorname{tg} \alpha}, \text{ об/с,}$$

де α – кут нахилу, $\alpha = 3^\circ$;

a – коефіцієнт, що характеризує вид насадки барабану, $a = 1,2$.

Отримаємо:

$$n = \frac{7}{1,2 \cdot 10400 \cdot 2,3 \cdot 0,052} = 0,00469 \text{ об/с} = 0,2814 \text{ об/мин}$$

Прийmemo, що частота обертання барабану становить $n = 0,053$ об/с.

4.2.4. Визначення потужності електродвигуна

Для приведення в рух барабану сушарки необхідний електродвигун з наступною потужністю:

$$N = 0,078 D_0^3 \cdot L_0 \cdot \rho \cdot \sigma \cdot n = 0,078 \cdot 2,3^3 \cdot 7 \cdot 1990 \cdot 0,053 \cdot 0,053 \approx 16,15 \text{ кВт}$$

4.3. Міцнісний розрахунок сушарки

Виконаємо міцнісний розрахунок корпусу барабанної сушарки. Проведемо розрахунок корпусу та основних деталей при робочих навантаженнях.

Одним із завдань даного розрахунку є визначення товщини стінки барабану. При розрахунку барабан можна представити у вигляді закріпленої

на кінцях балки. Зерно, насадку (лопатки), шар теплоізоляції та сам барабан можна вважати навантаженням, що рівномірно розподіляється вздовж осі машини (рис. 4.2.). Роль зосередженої в конкретному місці сили грає вага привідної шестерні.

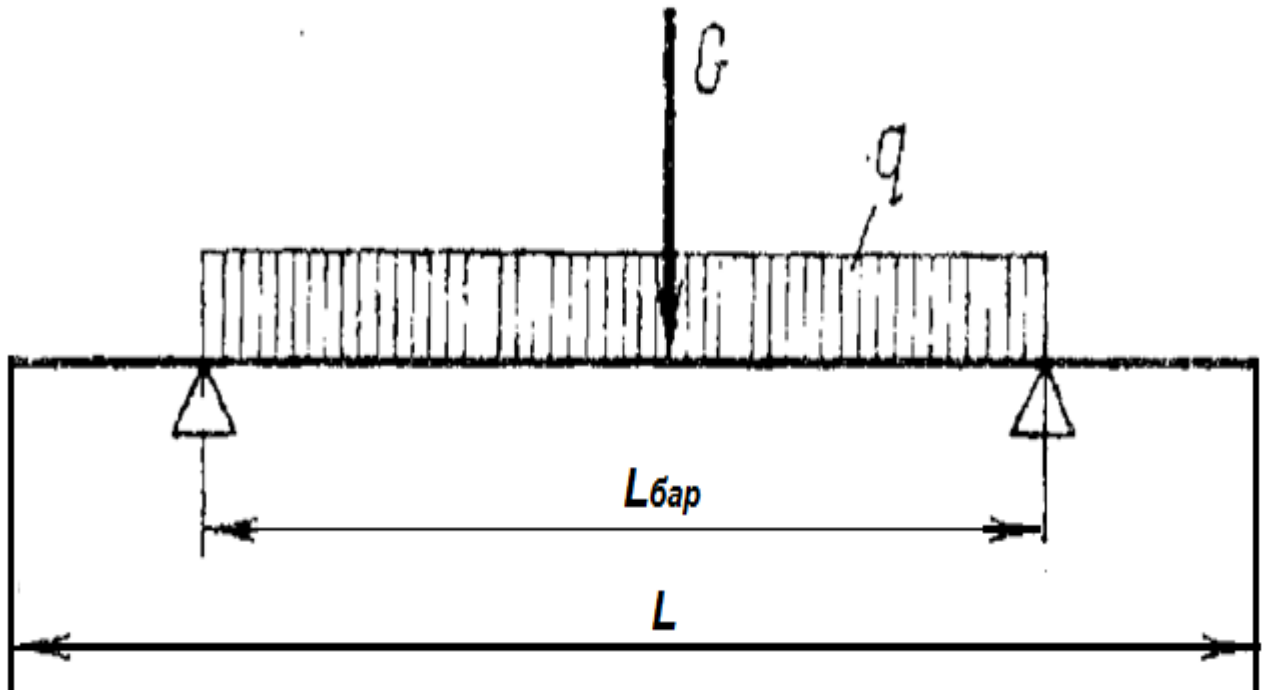


Рисунок 4.2. Схема розподілення навантаження на барабан сушарки

Проведемо розрахунок.

Товщина стінки:

$$S_{\sigma} = (0,007 \div 0,01)D_H,$$

отримаємо:

$$S_{\sigma} = (0,007 \div 0,01)2300 = 16,1 \div 23$$

Приймемо значання товщини стінки $S_{\sigma} = 16$ мм

Визначимо значення згинаючого моменту від рівномірного навантаження на барабан:

$$M_1 = q \cdot L_{бар}^2 / 8, \text{ Н}\cdot\text{м},$$

де q – навантаження, що діє на на 1 м.кв. довжини барабану, МПа:

$$q = G / L, \text{Н};$$

$L_{\text{бар}}$ - довжина барабану (відстань між бандажами), якщо довжина

складає 6 м то приймаємо $L_{\text{бар}} = 4,2, \text{м}$.

Визначимо загальне навантаження:

$$G = G_{\text{бар}} + G_{\text{мат}}, \text{Н}.$$

де $G_{\text{бар}} = G \cdot 9,81$ - вага барабану, Н:

Отримаємо:

$$G = \left(\frac{\pi D^2}{4} - \frac{\pi D_{\text{вн}}^2}{4} \right) \cdot L \cdot \rho + 2 \left(\frac{\pi D^2}{4} \cdot S \cdot \rho \right)$$

$$G = \left(\frac{3,14 \cdot 2,3^2}{4} - \frac{3,14 \cdot 2,268^2}{4} \right) \cdot 7 \cdot 7700 + 2 \left(\frac{3,14 \cdot 2,3^2}{4} \cdot 0,016 \cdot 7700 \right) = 8000 \text{кг}$$

$$G_{\text{бар}} = 8000 \cdot 9,81 = 78480 \text{Н}$$

$$G_{\text{мат}} = 0,785 \cdot D_{\text{вн}} \cdot \beta \cdot \gamma_{\text{мат}} \cdot L - \text{маса вологого зерна, Н};$$

$$\gamma_{\text{мат}} = \rho \cdot 9,81 - \text{питома вага висушеного зерна, Н/м}^3:$$

$$\gamma_{\text{мат}} = 1990 \cdot 9,81 = 18639, \text{Н/м}^3;$$

Підставивши значення:

$$G_{\text{мат}} = 0,785 \cdot 2,268 \cdot 0,15 \cdot 18639 \cdot 7 = 34844, \text{Н}.$$

Отже:

$$G = 78480 + 34843 = 113324, \text{Н.}$$

Визначимо значення M_1 :

$$M_1 = \frac{113324}{7} \cdot 4,2^2 / 8 = 35697, \text{Н}\cdot\text{м.}$$

Визначимо згинаючий момент від зосередженого в конкретному місці навантаження.

Необхідно визначити з якою силою на барабан діють насадка та кільця жорсткості. При діаметрі барабану 2,3 м вага 1 метра насадки (лопатеї) становить 1970Н. Вага шестерні становить 8870Н.

Таким чином, можемо визначити згинаючий момент від зосередженого в конкретному місці навантаження:

$$M_2 = G_{вен} \cdot L_{бар} / 4, \text{Н}\cdot\text{м.}$$

$$M_2 = 8860 \cdot 4,2 / 4 = 9303, \text{Н}\cdot\text{м.}$$

Тоді визначимо сумарний згинаючий момент барабану сушарки (від рівномірно розподіленого та від зосередженого в конкретному місці навантаження):

$$M_{узг} = M_1 + M_2, \text{Н}\cdot\text{м.}$$

$$M_{узг} = 35697 + 9303 = 45000, \text{Н}\cdot\text{м.}$$

Крутний момент отримаємо із виразу:

$$M_{кр} = \frac{N}{D \cdot \pi \cdot n}, \text{Н}\cdot\text{м.}$$

Тоді:

$$M_{кр} = \frac{16,15}{2,3 \cdot 3,14 \cdot 0,053} = 42,19, \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Визначимо розрахунковий момент:

$$M_{расч} = 0,35 \cdot M_{изг} + 0,65 \cdot \sqrt{M_{изг}^2 + M_{кр}^2}, \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Після підстановки відповідних даних отримаємо:

$$M_{расч} = 0,35 \cdot 45000 + 0,65 \cdot \sqrt{45000^2 + 42,19^2} = 45000, \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Розрахуємо напруження стінки барабану сушарки. Воно не може перевищувати допустиме значення:

$$\sigma_{макс} = M_{расч} / W \leq \sigma_{доп}, \text{ МПа},$$

де $W = 0,785 \cdot D_{бар}^2 \cdot \delta_{бар}$ - момент опору барабану;

$$D_{бар} = D - 0,5 \cdot \delta_{бар}, \text{ м}.$$

За таких умов:

$$W = 0,785 \cdot (2,3 - 0,5 \cdot 0,016)^2_{бар} \cdot 0,016 = 0,05, \text{ м}^3.$$

напруження стінки барабану становить:

$$\sigma_{макс} = \frac{M_p}{W} = \frac{45000}{0,066} = 90 \text{ МПа}$$

Для перевірки порівняємо отримане значення напруження стінки барабану із допустимим відповідно до ГОСТ 14249-73. Стандартом передбачено, що напруження не повинно перевищувати значення $[\sigma_{и}] = 131 \text{ МПа}$. Таким чином, можна зробити висновок, що дана умова виконується.

Проведемо перевірку допустимого прогину барабану сушарки для зерна пшениці.

Допустиме значення прогину барабану становить 0,3 мм на 1 метр довжини барабану.

Таким чином:

$$f \leq 0,0003 \cdot L_{бар},$$

де $f = f_1 + f_2$ - сумарний прогин барабану, м;

$$f_1 = 5 \cdot q \cdot L_{бар}^4 / (384 \cdot E \cdot J) - \text{прогин, що спричинений рівномірно}$$

розподіленням навантаження, м;

$$E = 1,86 \cdot 10^5 - \text{модуль міцності, МПа;}$$

$$J = \frac{\pi \cdot D_{бар}^3}{8} \delta_{бар} - \text{момент інерції;}$$

$$f_2 = G_{вен} \cdot L_{бар}^3 / (48 \cdot E \cdot J) - \text{прогин під дією зосередженого в}$$

конкретному місці навантаження, м.

Отримаємо:

$$\begin{aligned} f_1 &= 5 \cdot 16189 \cdot 4,2^4 / (384 \cdot 1,86 \cdot 10^5 \cdot 10^6 \cdot \frac{3,14 \cdot (2,3 - 0,016)^3}{8} \cdot 0,016) = \\ &= 8,3 \cdot 10^{-6}, \text{ м.} \end{aligned}$$

Також:

$$f_2 = 8860 \cdot 4,2^3 / (48 \cdot 1,86 \cdot 10^5 \cdot 10^6 \cdot \frac{3,14 \cdot (2,3 - 0,016)^3}{8} \cdot 0,016) = 1 \cdot 10^{-6}, \text{ м.}$$

Проведемо перевірку виконання умов:

$$f = 8,3 \cdot 10^{-6} + 1 \cdot 10^{-6} = 9,3 \cdot 10^{-6} \leq 0,0003 \cdot 4,2 = 1260 \cdot 10^{-6}$$

Тобто вигин барабану сушарки не перевищує допустимого значення.

Проведемо розрахунок бандажів барабану сушарки відповідно до розрахункової схеми (рис. 4.3.).

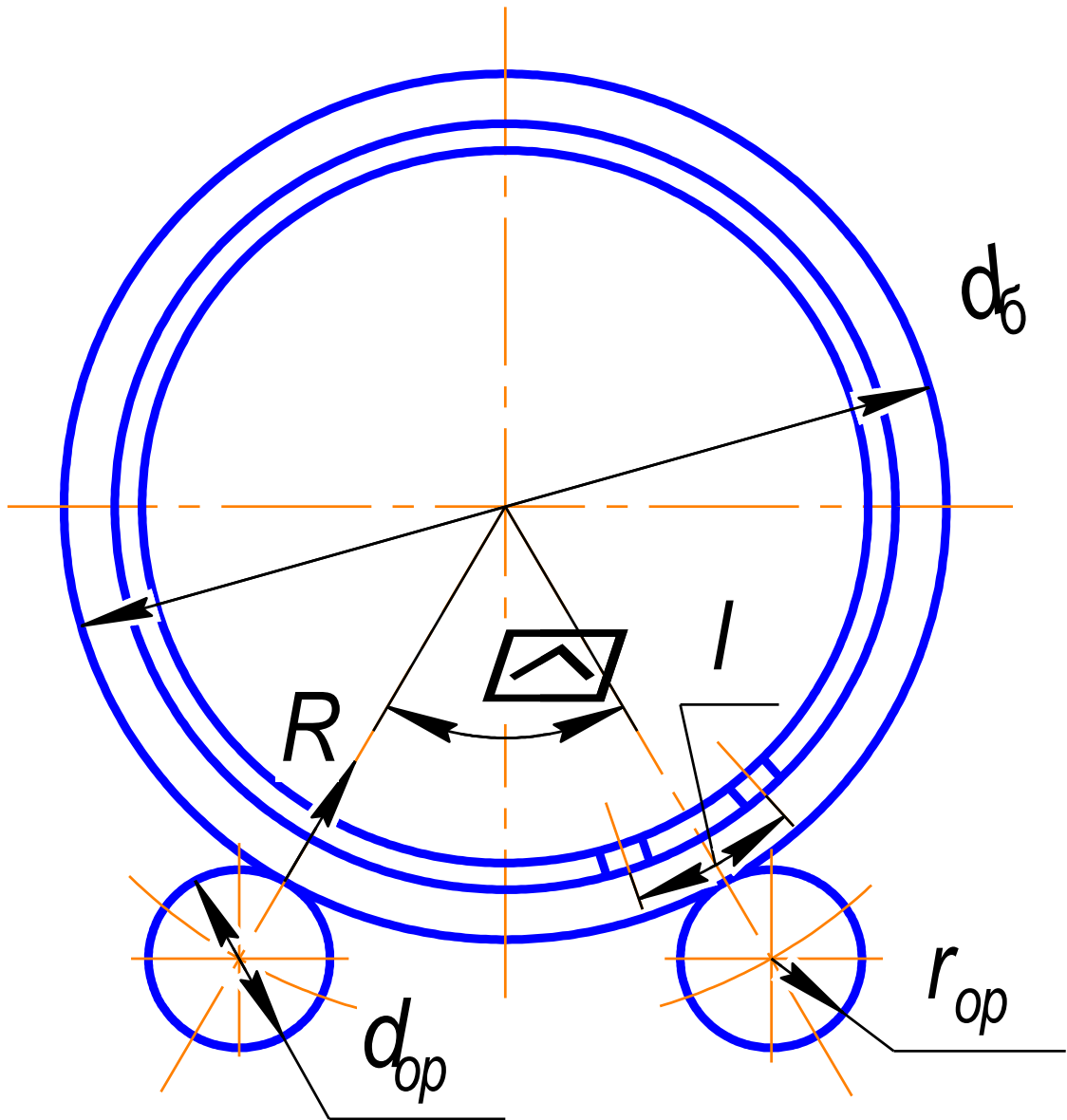


Рисунок 4.3 Схема для розрахунку бандажів.

Визначимо реакцію ролика за формулою:

$$R = \frac{P}{2 \cdot \cos \frac{\psi}{2}}$$

де $P = \frac{G_{\text{всього}}}{z} \cos \alpha$ – навантаження, що діє на бандаж;

ψ - кут, під яким розміщуються ролики, $\psi = 60^\circ$;

z – число бандажів, становить 2;

$\alpha = 3^\circ$ – кут, під яким барабан сушарки розміщений відносно горизонту;

$G_{всього} = G_{бар} + G_{мат} + 2 \cdot G_{бан}$ - загальна маса барабану сушарки, кг;

$G_{бан} = 11200$ – вага одного бандажу, Н:

$$G_{всього} = 78480 + 34843 + 2 \cdot 11200 = 132083, \text{ Н.}$$

За таких умов можемо визначити:

$$P = \frac{132083}{2} \cdot 0,998 = 65909, \text{ Н.}$$

$$R = \frac{65909}{2 \cdot 0,866} = 37195, \text{ Н}$$

Визначимо відстань між сусідніми опорами барабану за формулою:

$$l = \frac{\pi \cdot D}{m}, \text{ м,}$$

де m – кількість опор, залежить від діаметру барабану, становить 12.

Підставивши отримаємо:

$$l = \frac{3,14 \cdot 2,3}{12} = 0,601, \text{ м.}$$

Визначимо згинаючий момент барабану в місці розташування опорного ролика:

$$M_{\max} = \frac{R \cdot l}{4}, \text{ Н}\cdot\text{м}$$

$$M_{\max} = \frac{37195 \cdot 0,314}{4} = 5596, \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

Приймаємо розміри бандажу: $b_{\bar{\sigma}} = 0,165\text{м}$; $h_{\bar{\sigma}} = 0,136\text{ м}$.

Визначимо момент опору робочого січення бандажу:

$$W = \frac{b_{\sigma} \cdot h_{\sigma}^2}{6} = \frac{0,155 \cdot 0,135^2}{6} = 4,708 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$$

Напруження в бандажі:

$$\sigma_u = \frac{M_{\max}}{W}, \text{Па}$$

Тоді:

$$\sigma_u = \frac{5596}{4,708 \cdot 10^{-4}} = 1188 \cdot 10^4, \text{Па.}$$

Зовнішній діаметр бандажу визначимо із виразу:

$$d_{\sigma} = D + 2 \cdot h_{\sigma},$$

$$d_{\sigma} = 2,3 + 2 \cdot 0,135 = 2,57, \text{м.}$$

Встановими діаметр 2,6 м.

Діаметр опорного ролика визначимо за формулою:

$$d_{op} = 0,25 \cdot d_{\sigma}, \text{ м}$$

$$d_{op} = 0,25 \cdot 2,6 = 0,65.$$

Встановими 0,65 м.

Також проведемо перевірку контактної міцності в місті взаємодії бандажа та ролика. Умова контактної міцності для чавуну (матеріал бандажу) наступна:
 $\sigma_c \geq 350, \text{ МПа.}$

Визначимо контактну міцність:

$$\sigma_c = 0,418 \sqrt{\frac{R}{b_{\sigma}} \cdot E \cdot \frac{d_{\sigma} + d_{op}}{d_{\sigma} \cdot d_{op}}}, \text{ МПа.}$$

$$\sigma_c = 0,418 \cdot \sqrt{\frac{37195 \cdot 1,75 \cdot 10^5 (2,6 + 0,65)}{0,155 \cdot 2,6 \cdot 0,65}} = 118,8, \text{ МПа.}$$

Таким чином умова контактної міцності для даного виробу виконується.

4.4. Підбір електродвигуна

Визначимо обертовий момент на валу редуктора:

$$P_{\text{ЭД}}^{\text{ТР}} = \frac{P_{\text{РВ}}}{\eta_0}, \text{ Вт},$$

де $P_{\text{РВ}} = T_{\text{РВ}} \cdot \omega_{\text{РВ}}, \text{ Вт}$ – потужність, Вт

$$\eta_0 = \eta_{\text{м}} \cdot \eta_{\text{зк}} \cdot \eta_{\text{зцю}} - \text{ККД};$$

$$\omega_{\text{РВ}} = \pi \cdot n / 30, \tilde{n}^{-1} - \text{кутова швидкість:}$$

$$\omega_{\text{РВ}} = 3,14 \cdot 3,18 / 30 = 0,333, \text{ с}^{-1};$$

$$\eta_{\text{м}} = 1 - \text{ККД муфти};$$

$$\eta_{\text{зк}} = 0,97 - \text{ККД передачі редуктора};$$

$$\eta_{\text{зцю}} = 0,95 - \text{ККД циліндричної передачі};$$

$$P_{\text{РВ}} = 48498 \cdot 0,333 = 16150, \text{ Вт}$$

Отримаємо:

$$P_{\text{ЭД}}^{\text{ТР}} = \frac{16150}{1 \cdot 0,97 \cdot 0,95} = 17525, \text{ Вт}.$$

Визначимо частоту обертання електродвигуна:

$$Dn_{\text{ЭД}} = n \cdot Du_{\Sigma}, \text{ об/хв},$$

де $n = 3.18 \text{ об/хв}.$

Таким чином отримаємо:

$$Dn_{\text{ЭД}} = 4,1 \cdot (6 \div 28) = 24,6 \div 114,8, \text{ об/хв}.$$

4.5. Розрахунок допоміжного обладнання барабанної сушарки

4.5.1. Розрахунок циклону

Відпрацьований сушильний агент потребує очистки від пилу, що був захоплений при сушінні зерна. З цією метою використовується циклон (рис. 4.5)., у якому за рахунок виникнення відцентрових сил, в результаті закручування потоку сушильного агента (сушильного агента), частина забруднення відштовхується під дією відцентрової сили до стінки та переміщується в пилосбірник. Очищений сушильний агент виводиться крізь патрубок з очисного циклона.

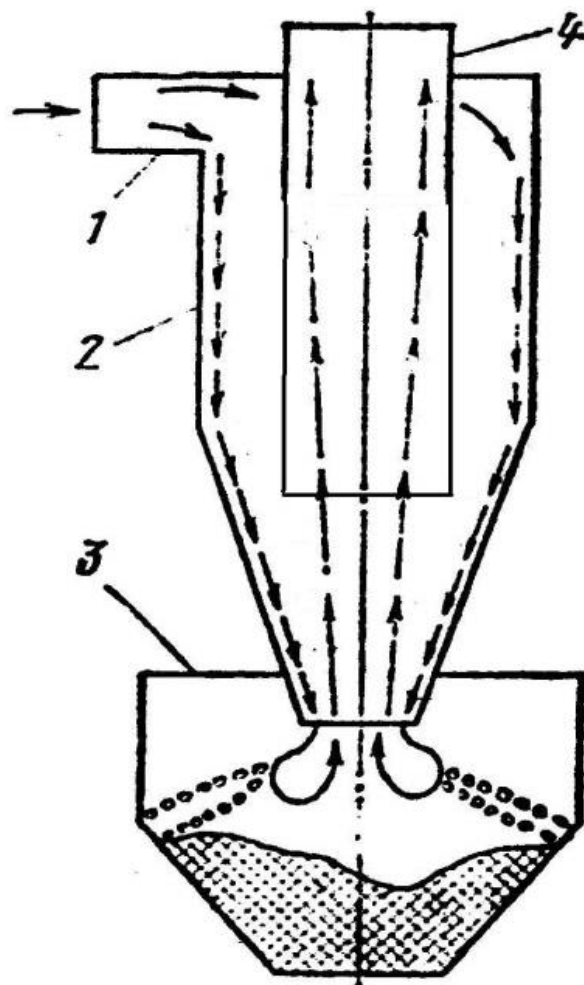


Рисунок 4.1 – Циклон для очистки сушильного агента

1- вхідний патрубок; 2-стінки; 3 – пилозбірник; 4- патрубок для виходу очищеного сушильного агента.

Для виконання розрахунку циклону необхідні наступні параметри його роботи:

- витрата сушильного агенту:

$$Q_{с.а.} = 2,0 \text{ м}^3/\text{с};$$

- густина сушильного агенту:

$$\rho_{с.а.} = 1,01 \text{ кг/м}^3;$$

- динамічний коефіцієнт в'язкості сушильного агенту:

$$- 22,3 \cdot 10^{-6} \text{ Па}\cdot\text{с}.$$

Оптимальна швидкість сушильного агенту в циклоні:

$$\omega_{\text{опт}} = 4,5 \text{ м/с}$$

Площа перерізу циклону:

$$F = \frac{Q_p}{\omega_{\text{опт}}}$$

Підставимо відповідні значення

$$F = \frac{2,02}{4,5} = 0,449 \text{ м}^2$$

Діаметр циклону можна визначити із формули:

$$D = \sqrt{\frac{F}{0,785}}$$

Тоді діаметр циклону становить:

$$D = \sqrt{\frac{0,449}{0,785}} = 0,756 \text{ м}$$

Відповідно до існуючого стандарту приймаємо циклон діаметром 0,8 м.

Визначимо дійсну швидкість сушильного агента в циклоні:

$$\omega = \frac{Q_p}{0.785 \cdot D^2}$$

таким чином, підставивши наші дані отримаємо:

$$\omega = \frac{2,02}{0.785 \cdot 0,8^2} = 4.021 \text{ м/с}$$

Нам необхідно звірити отриману швидкість руху сушильного агента з її оптимальним значенням, різниця між ними не має перевищувати 15%. Отже отримаємо:

$$\Delta = \left(\frac{4,5 - 4,021}{4,5} \right) * 100 = 10.7 \%$$

отже дана умова для швидкості виконується.

Визначимо коефіцієнт гідравлічного опору для обраного циклону для очистки сушильного агента:

$$\zeta = K_1 \cdot K_2 \cdot \zeta_{u500}^c$$

де ζ_{u500}^c - коеф. гідравлічного опору стандарт. циклону, $\zeta_{u500}^c = 80$;

$K_1 = 1,05$ – коефіцієнт, що залежить від діаметру циклону для очистки сушильного агента;

$K_2 = 1$ – коеф., що враховує запиленість сушильного агента, $K_2 = 1 \text{ г/м}^3$.

Таким чином отримаємо:

$$\zeta = 1,05 \cdot 1 \cdot 80 = 84$$

Враховуючи отримані значення параметрів визначимо гідравлічний опір підбраного циклону:

$$\Delta P_u = \zeta \cdot \frac{\rho \omega^2}{2}$$

Отримаємо:

$$\Delta P_u = 84 \cdot \frac{1.02 \cdot 4.02^2}{2} = 693 \text{ Па}$$

Технічні характеристики підбраного циклону для очистки сушильного агенту подано у вигляді таблиці 4.1.

Таблиця 4.1. Технічні характеристики циклона

Характеристика	Значення
Діаметр циклона	0,8 м
Внутрішній діаметр вихлопної труби	(0,59D), d – 0,45 м
Внутрішній діаметр пиловипускного отвору	(0,3D), d1 - 0,23 м
Кут нахилу кришки та вхідного патрубку	$\alpha - 24^\circ$
Висота вхідного патрубку	(1,11D), a - 0,84 м
Висота вихлопної труби	(2,11D), hт - 1,6 м
Висота циліндричної частини циклону	(2,11D), Нц - 1,6 м
Висота конусу циклону	(1,75D), Нк - 1,3 м
Висота зовнішньої частини вихлопної труби	(0,4D), hв - 0,3 м
загальна висота циклону	(4,26D), Н – 3.25 м

Основні розміри підбраного циклону для очистки сушильного агенту представлено на рисунку 4.2

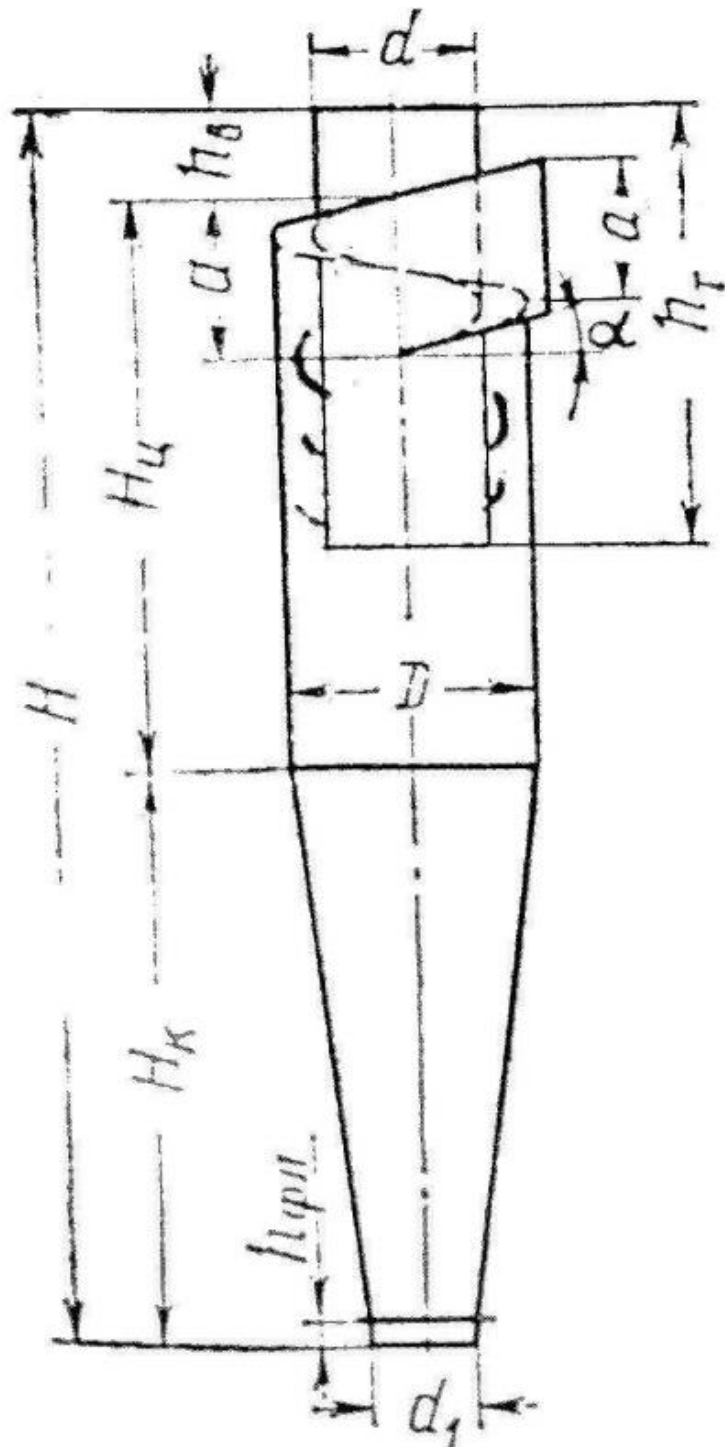


Рисунок 4.2. Циклон для очистки сушильного агенту

4.5.2. Підбір відцентрового вентилятора для транспортування сушильного агенту

Вентилятор для транспортування сушильного агенту встановлюється у кінці пневмо-мережі барабанної сушарки.

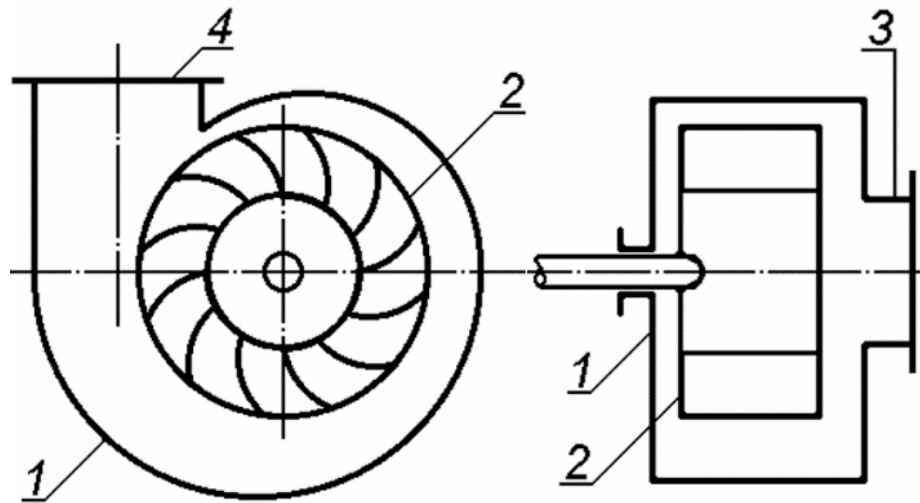


Рисунок 4.3. Відцентровий вентилятор

1-корпус вентилятора; 2-лопатеве колесо; 3-патрубок всмоктування;
4-патрубок нагнітання.

Таблиця 4.3. Данні для розрахунку вентилятора

Витрата газу:	2,03 м ³ /с;
Трубопровід має 4 повороти на 90°, 2 засувки та 1 вентиль.	
Гідравлічний опір циклону	693 Па
Довжина трубопроводу	15 м
Розрідження у барабані сушарки	250 Па

Визначимо діаметр патрубка:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot V_g}{\pi \cdot \omega_0}}$$

де V_g – розхід сушильного агенту, м³/с;

ω_0 – умовна швидкість сушильного агенту у трубопроводі, м/с, становить 10 м/с.

Отримаємо:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,02}{3,14 \cdot 10}} = 0,507 \text{ м}$$

Дійсна швидкість сушильного агенту в патрубку:

$$\omega_d = \frac{4 \cdot V_p}{\pi \cdot d^2}$$

Підставимо значення:

$$\omega_d = \frac{4 \cdot 2,02}{3,14 \cdot 0,519^2} = 9,57 \text{ м/с}$$

Критерій Рейнольдса:

$$\text{Re} = \frac{\omega_d \cdot d \cdot \rho}{\mu}$$

де ρ - густина сушильного агенту, кг/м³;

μ - динамічна в'язкість сушильного агента, Па·с.

Підставивши значення отримаємо:

$$\text{Re} = \frac{9,57 \cdot 0,519 \cdot 1,02}{20 \cdot 10^{-6}} = 244035$$

Дане значення критерію рейнольдса означає, що режим руху сушильного агенту турбулентний.

За таких умов коефіцієнт тертя можна визначити за формулою:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \cdot \lg \left[\frac{\varepsilon}{3,7} + \left(\frac{6,81}{\text{Re}} \right)^{0,9} \right]$$

де λ – коеф. тертя;

ε – шорсткість патрубку.

$$\varepsilon = \frac{\Delta}{d}$$

де Δ – абсолютне значення шорсткості, мм.

Підставивши отримаємо:

$$\varepsilon = \frac{0,2}{500} = 4 \cdot 10^{-4}$$

Тепер визначимо коефіцієнт тертя:

$$\lambda = \left[\frac{1}{-2 \cdot \lg \left[\frac{0.0004}{3.7} + \left(\frac{6.81}{244035} \right)^{0.9} \right]} \right]^2 = 0.018$$

Також потрібно визначити суму коефіцієнтів місцевих опорів нашої пневмосистеми:

$$\sum \zeta = \xi_1 + n \cdot \xi_2 + \xi_3 + \xi_4 + \xi_5$$

де ξ_1 – вхід у трубу, становить 0,5;

n – число згинів труби на 90° , становить 2;

ξ_2 - поворот на 90° , 1,1 ;

ξ_3 – заслінка, 0,15;

ξ_4 –вентиль, становить 0,3

ξ_5 –вихід, 1.

Після підстановки значень відповідних коефіцієнтів визначимо суму місцевих опорів:

$$\sum \zeta = 0.5 + 2 \cdot 1.1 + 0.15 + 0.29 + 1 = 4.14$$

Витрати тиску:

$$\Delta P_{заг} = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{\omega^2 \cdot \rho}{2} + \sum \xi \cdot \frac{\omega^2 \cdot \rho}{2}$$

$$\Delta P_{mp} = 0,018 \cdot \frac{20}{0,519} \cdot \frac{9,57^2 \cdot 1,02}{2} + 4,14 \cdot \frac{9,57^2 \cdot 1,02}{2} = 226 \text{ Па}$$

$$\Delta P_{заг} = \Delta P_{mp} + \Delta P_{\eta} + 250$$

$$\Delta P_{заг} = 226 + 693 + 250 = 1169 \text{ Па}$$

Потужність електродвигуна:

$$N_T = \frac{V_p \cdot \Delta P}{1000}$$

$$N_T = \frac{2,02 \cdot 1169}{1000} = 2,36 \text{ кВт}$$

$$N = \frac{N_T}{\eta_{\epsilon} \cdot \eta_n \cdot \eta_{\delta\epsilon}}$$

де η_{ϵ} – ККД привідного вентилятора, 72%;

η_n – коефіцієнт корисної дії передачі, 100%;

$\eta_{\delta\epsilon}$ – коефіцієнт корисної дії двигуна, 86%.

За таких умов отримаємо:

$$N = \frac{2,36}{0,71 \cdot 1 \cdot 0,87} = 3,35 \text{ кВт}$$

Враховуючи перевантаження при пуску оберемо потужність двигуна:

$$N_{вст} = \beta \cdot N,$$

Визначимо:

$$N_{вст} = 1,1 \cdot 3,35 = 3,7 \text{ кВт}$$

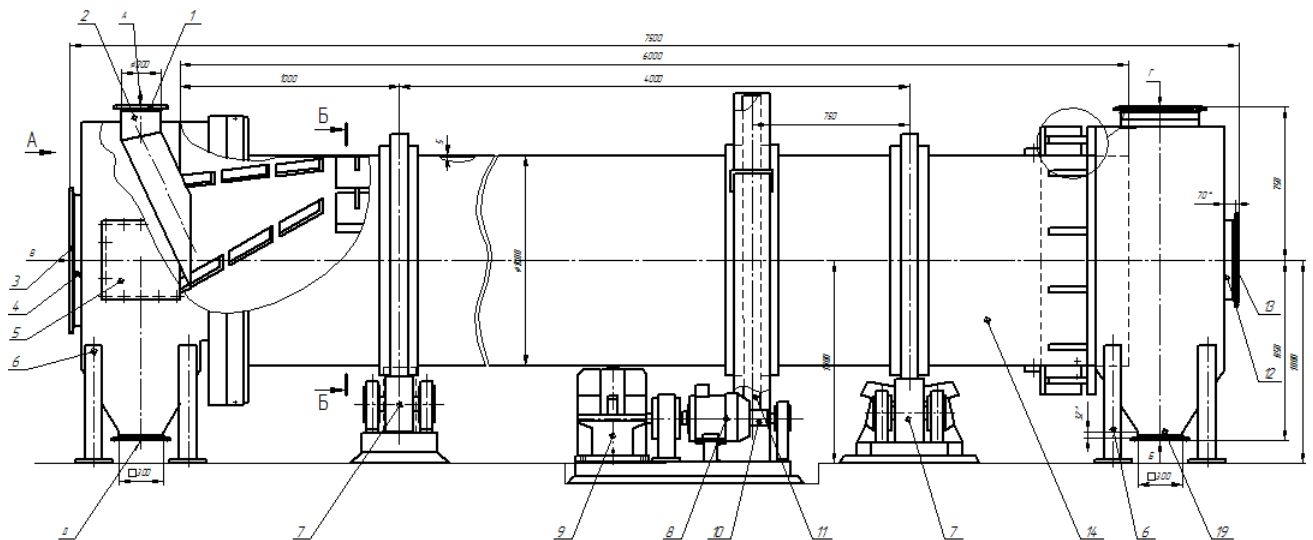
Обираємо вентилятор марки ВЦ14-46-5К02.

Характеристики обраного вентилятора:

- кількість обертів: $n = 25$ об/с;
- розхід сушильного агента $Q = 3,7$ м³/с;
- напір $H = 2400$ Па;
- коефіцієнт корисної дії: $\eta = 0,7$;
- двигун АО2-41-2;
- потужність двигуна 5,5кВт

4.6. Конструкція барабанної сушарки

На основі проведених у даному розділі розрахунків розробили конструкцію барабанної сушарки марки СЗСБ-8А (рис. 4.4.)



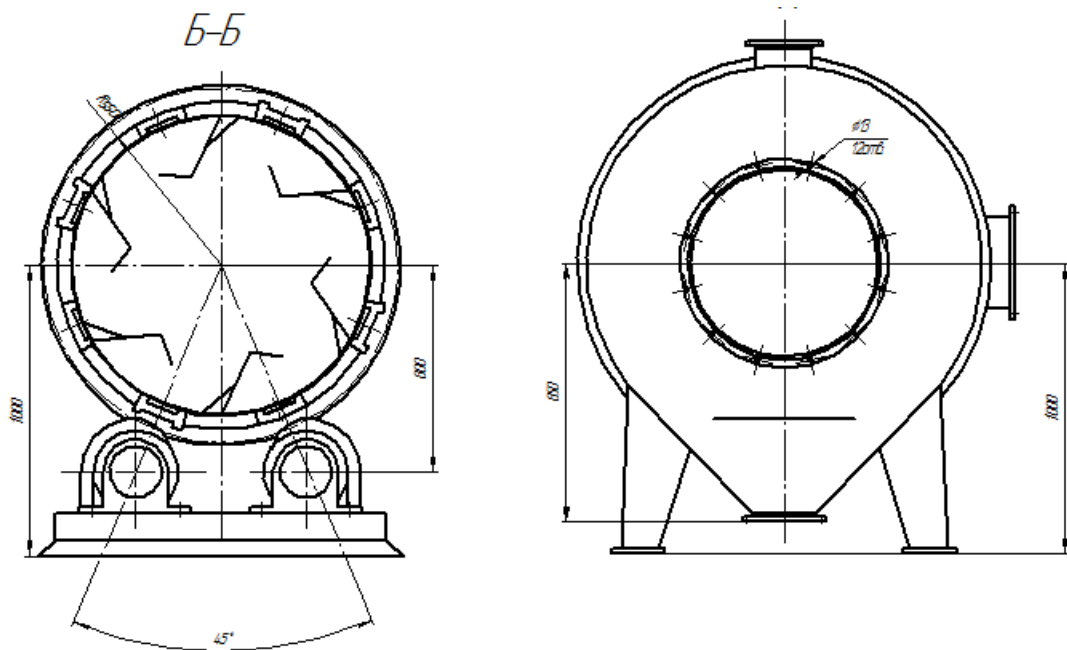


Рисунок 4.4. Загальний вигляд барабанної сушарки марки СЗСБ-8А

Загальні висновки

В процесі виконання дипломної роботи здійснено огляд сучасного обладнання для сушіння зерна та виконано аналіз процесу сушіння в барабанних сушарках.

Встановили дисперсний склад продукту сушіння – зерна пшениці. Найбільша частка зерна відповідає фракції з середньою товщиною 3,0 мм, вона становить 29% від загальної маси.

Дослідження зміни швидкості сушіння по довжині барабану встановили, що тепло та масообмінний процес, що відбувається всередині барабану можна умовно розбити на три стадії: прогрів зерна; зростання площі взаємодії зерна та сушильного агенту; стаціонарний процес сушіння зерна.

Встановили, що при швидкості руху сушильного агенту 1,6 м/с досягнення необхідної вологості зерна відбувається на 5 хв раніше ніж при заданій швидкості руху сушильного агенту (1,25 м/с).

Бібліографія

1. Быков В.В., Быков В.П. Исследовательское проектирование в машиностроении. – М.: Машиностроение, 2011. – 256 с.
2. Кармелюк Г. І. Теорія ймовірностей та математична статистика: посібник з розв'язування задач. / Г. І. Кармелюк – К.: Центр учбової літератури, 2007. – 576с.
3. Чубик Н. А. Справочник по теплофизическим характеристикам пищевых продуктов и полуфабрикатов / Н. А. Чубик, Л. Н Маслов. – М: Пищевая промышленность, 1970. – 184с.
4. Жигарев В. Г. Приближенное аналитическое описание гранулометрического состава дисперсного продукта методом ситового анализа / Жигарев В. Г., Казакова Е. Е. // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2006. – №10. – с. 11-12.
5. Гинзбург А. С. Сушка пищевых продуктов. – М.: Пищепромиздат, 1960. – 683 с
6. 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.
7. Запольський А.К., Українець А.І. Екологізація харчових виробництв: Підручник.-К: Вища школа, 2005.-433 с.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А
Протоколи досліджень

Зміна температури сушильного агенту та матеріалу (зерна пшениці) по довжині барабанної сушарки

Довжина барабану, м	Сушильний агент (повітря), °С	Продукт (зерно пшениці), °С
0	250	15
0,5	225	30
1	200	42
1,5	177	52
2	155	62
2,5	145	71
3	135	80
3,5	127	89
4	120	94
4,5	114	91
5	110	88
5,5	107	85
6	105	82

Зміна вологості зерна пшениці під час його переміщення вздовж барабану сушарки

Довжина барабану, м	Вологість зерна, %
0	20
0,5	19,9
1	19,75
1,5	19,55
2	19,2
2,5	18,8
3	18,3
3,5	17,7
4	17
4,5	16,2
5	15,4
5,5	14,6
6	13,8

**Зміна швидкості сушіння зерна по довжині
барабану сушарки**

Довжина барабану, м	Швидкість сушіння, %/с
0	0,01
0,5	0,02
1	0,03
1,5	0,04
2	0,06
2,5	0,08
3	0,1
3,5	0,12
4	0,14
4,5	0,16
5	0,16
5,5	0,16

6	0,16
---	------