

Міністерство освіти і науки України
Одеський національний технологічний університет
Кафедра ПО та ЕМ



**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**

на тему Розробка шинкової сушарки з кільцевим термосифоном
(назва кваліфікаційної роботи згідно наказу ОНТУ)

Здобувача Березін С. Р.

(прізвище, ініціали)

II курсу _____ групи

Керівник доц. Безбах І. В.

(посада, прізвище та ініціали)

Консультант: по БЖД

доц. Всеволодов О.М.

(посада, прізвище та ініціали)

Кваліфікаційна робота допускається до захисту

Рішення кафедри від _____ 2025р., протокол № _____.

Завідувач кафедри ПО та ЕМ
(назва кафедри) (підпис)

Олег БУРДО
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Одеса - 2025 рік

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Навчально-науковий інститут	холоду, кріотехнологій та екоенергетики ім. В.С. Мартиновського
Кафедра	ПО та ЕМ
Ступінь вищої освіти	бакалавр
Спеціальність	133 «Галузеве машинобудування»
Освітня програма	«Енергетичний менеджмент та ІТ-сервіс обладнання»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри ПО та ЕМ

Олег БУРДО

« _____ » _____ р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Березін Станіслав Романович

1. Тема роботи Розробка шнекової сушарки з кільцевим термосифоном

Затверджена наказом академії від 25.11.2024 р наказ № 738-03

2. Термін здачі здобувачем закінченої роботи _____

3. Вихідні дані роботи: масова продуктивність сушарки за вологою сировиною $G_n=1500$ кг/год; вид матеріалу, що висушується - ячмінь; початкова і кінцева вологість висушуваного матеріалу $\omega_n=25\%$, $\omega_k=14\%$; початкова температура матеріалу $t_{z1}=15$ °С; температура повітря на вході в сушарку $t_1=20$ °С.

4. Перелік питань, які потрібно розробити: технологічний процес, вимоги до сировини, тари, готової продукції у відповідності до ДСТУ; способи реалізації технологічного процесу та машинно-апаратне оформлення; критичний огляд існуючого технологічного обладнання; обґрунтування розробки обраної конструкції; технічний проект; енергетичний аналіз лінії сушіння зерна; техніка безпеки і правила експлуатації машини

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Шнекова сушарка з кільцевим термосифоном (Лист 1), Шнекова сушарка з кільцевим термосифоном (лист 2), Барабан (Лист 3), Камера змішування (Лист 4), Внутрішній циліндр, підставка (Лист 5), Вал, кришка права (Лист 6), Шнековий термосифон (Лист 7)

6. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи, що стосуються їх

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Техніка безпеки і правила експлуатації машини	Всеволодов О.М.		

7. Дата видачі завдання _____

Керівник _____ Безбах І. В.

Завдання прийняв до виконання _____ Березін С. Р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	технологічний процес, вимоги до сировини, тари, готової продукції у відповідності до ДСТУ		
2.	способи реалізації технологічного процесу та машинно-апаратне оформлення		
3.	критичний огляд існуючого технологічного обладнання		
4.	обґрунтування розробки обраної конструкції		
5.	технічний проект		
6.	енергетичний аналіз лінії сушіння зерна		
7.	техніка безпеки і правила експлуатації машини		

Здобувач – дипломник _____ Березін С. Р.

Керівник роботи _____ Безбах І. В.

Зміст

Реферат	5
Вступ.....	6
1. Технологічний процес, вимоги до сировини, тари, готової продукції у відповідності до ДСТУ	8
2. Способи реалізації технологічного процесу та машинно-апаратне оформлення.....	11
3. Критичний огляд існуючого технологічного обладнання	18
4. Обґрунтування розробки обраної конструкції.....	26
5. Технічне завдання на проектування.....	29
6. Технічний проект	34
6.1. Опис запропонованої машини, принцип дії, устрій	34
6.2 Технологічний розрахунок.....	38
6.3 Силовий розрахунок	45
6.3.1 Розрахунок шнекового робочого органу як мішалки.....	45
6.3.2 Розрахунок шнекового робочого органу як транспортера	48
6.4 Кінематичний розрахунок приводу шнекового термосифону	51
6.5 Вибір електродвигуна приводу барабана	54
6.6 Кінематичний розрахунок приводу барабана	54
6.7 Розрахунки на міцність.....	55
7 Енергетичний аналіз лінії сушіння зерна	59
8. Техніка безпеки і правила експлуатації машини	63
Використані літературні джерела.....	67
Специфікації	68

					КРБ.ПОтаЕМ.1. 738-03.4.1			
Змін	Ар-	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб		Березін С. Р.			Розробка шнекової сушарки з кільцевим термосифоном	Літ.	Арк	Аркушіє
Перевірів		Безбах І. В.					4	68
Н. Контр.					ОНТУ			
Затв.		Бурдо О. Г.						

Реферат

У даній дипломній роботі наведено критичний огляд існуючого обладнання. Розроблено технічне завдання. Виконані необхідні розрахунки підтверджують працездатність машини.

Розрахунково-пояснювальна записка включає 68 стор.

Графічна частина включає - 7 листів А1

Вступ

На сучасному етапі розвитку харчової промисловості дедалі більшого значення набувають енергоощадні та якісно керовані технології обробки сировини. Однією з найважливіших операцій, що визначає стабільність зберігання продукції та збереження її споживчих властивостей, є зневоднення. В умовах зростаючого попиту на функціональні, натуральні та екологічно безпечні продукти виникає потреба у вдосконаленні процесів сушіння, особливо для термочутливої сировини.

Серед існуючих методів вилучення вологи з харчових систем важливе місце займає «контактне сушіння», що ґрунтується на теплопередачі від нагрітої поверхні безпосередньо до матеріалу. Цей спосіб забезпечує високу теплотехнічну ефективність, коротку тривалість процесу, стабільний температурний режим та менші втрати енергії порівняно з традиційними конвективними установками. За енерговитратами контактні сушарки, залежно від типу обладнання, споживають у середньому 1,5–2,2 МДж на 1 кг випареної вологи, що майже вдвічі менше, ніж у більшості повітряних або інфрачервоних сушильних систем.

До основних видів контактних сушарок, які застосовуються в харчовій промисловості, належать валкові, лопатеві, стрічкові, барабанні, вакуумні та шнекові установки. Їх використовують для сушіння продуктів із високою вологістю та в'язкістю: фруктових і овочевих пюре, згущеного молока, білкових суспензій, томатної пасти, харчових екстрактів, а також побічних продуктів аграрного виробництва. Важливо, що при правильно підібраному технологічному режимі ці сушарки дозволяють зберігати біологічно активні речовини, зокрема вітаміни, ферменти, ефірні олії та фітонутрієнти.

Однак, не зважаючи на очевидні переваги, впровадження контактного сушіння супроводжується низкою проблем. До них належить недостатня стандартизація режимів для конкретних типів сировини, утруднений контроль

товщини продуктового шару на нагрітій поверхні, локальні перегріву та нерівномірне висушування. У разі роботи з термолабільними масами існує загроза втрати кольору, смаку чи зміни структури готового продукту. Крім того, актуальною залишається задача зменшення питомих витрат енергії, особливо у випадках неперервної подачі сировини з нестабільними властивостями.

Значний потенціал вдосконалення контактної сушіння пов'язаний з оптимізацією конструкцій сушильних апаратів, підвищенням ефективності теплового контакту, впровадженням автоматизованого регулювання температурних параметрів і вакуумного режиму. Водночас важливим напрямом досліджень є вивчення кінетики зневоднення реальних харчових систем, оскільки більшість публікацій орієнтована на модельні розчини або лабораторні умови.

Актуальність теми даної дипломної роботи обумовлена необхідністю створення технологічно та енергетично ефективних режимів контактної сушіння, що дозволяють не лише знизити витрати виробництва, але й забезпечити високу якість кінцевого продукту. Враховуючи зростаючий інтерес до фітоконцентратів, натуральних смакоароматичних добавок та інгредієнтів функціонального харчування, що виготовляються з рослинної сировини, дослідження механізмів та особливостей її зневоднення контактним методом має важливе прикладне значення.

Отже, метою цієї дипломної роботи є аналіз, розробка та обґрунтування параметрів контактної сушарки на базі термосифонів, визначення найбільш ефективних режимів та технічних рішень, які дозволять підвищити якість продукту та зменшити енерговитрати при збереженні цільових компонентів.

1. Технологічний процес, вимоги до сировини, тари, готової продукції у відповідності до ДСТУ

У процесі післязбиральної обробки зернових культур ключову роль відіграє стадія сушіння. Саме на цьому етапі формується кінцева якість продукту, забезпечується його збереження під час транспортування та тривалого зберігання. Серед багатьох типів сушильного обладнання барабанна сушарка посідає провідне місце завдяки простій конструкції, високій продуктивності та здатності працювати у безперервному режимі.

Конструктивні особливості.

Барабанна сушарка складається з металевого циліндра, що обертається навколо власної осі та встановлений під невеликим кутом до горизонталі. Такий нахил забезпечує самопливне переміщення зерна від зони завантаження до зони вивантаження. У середині барабана розміщено систему підйомних пластин (лопаток), які піднімають зернову масу під час обертання та створюють умови для рівномірного розподілу теплового потоку.

Нагрівання повітря здійснюється у теплообмінному агрегаті або безпосередньо у топці, після чого гаряче повітря подається до барабана. Залежно від схеми сушіння, подача теплоносія може бути прямоочною (повітря рухається в тому ж напрямку, що й зерно) або протиточною (повітря рухається назустріч зерновій масі). Останній варіант вважається енергоефективнішим для остаточного зниження вологості.

Сире зерно потрапляє у завантажувальний отвір барабана, звідки воно поступово переміщується до розвантажувальної частини завдяки гравітаційному нахилу та обертанню. Протягом проходження через барабан зерно багаторазово піднімається підйомними лопатками й вільно падає вниз, взаємодіючи з гарячим повітрям. У цей момент відбувається інтенсивне випаровування вологи з поверхні зернин, а також поступове прогрівання до допустимих температур.

Температурний режим суворо контролюється, щоб уникнути перегріву, що може викликати втрату схожості насіння або погіршення харчової цінності. Відпрацьоване повітря з водяною парою виводиться через витяжний канал, а висушене зерно надходить у бункер або на наступну стадію обробки.

Оптимальні режими сушіння залежать від типу культури, початкової вологості, призначення зерна (харчове, кормове, насіннєве) та вимог до якості. Найбільш поширені параметри:

Початкова вологість: 18–30 %;

Кінцева вологість: 13–14 % (зерно для зберігання);

Температура теплоносія на вході: 100–130 °С;

Температура зерна на виході: не вище 50–60 °С;

Тривалість сушіння: 20–45 хвилин;

Швидкість обертання барабана: 3–6 об/хв.

Енергоспоживання.

Барабанна сушарка має досить високе енергоспоживання. Середнє енергоспоживання на 1 кг випареної вологи становить:

5,0–5,5 МДж — при роботі на природному газі чи дизельному паливі;

4,8–5,2 МДж — при використанні біомаси (лушпиння, тріска);

0,4–0,6 кВт·год/тону сировини — електроенергія на приводи.

Таблиця 1

Типові технічні характеристики

Показник	Значення
Продуктивність	2–10 т/год (залежно від типу)
Діаметр барабана	1,2–2,5 м
Довжина барабана	4–10 м
Споживання пального	1,5–3,0 кг умовного палива/т
ККД сушарки	до 65–75 %
Маса обладнання	3–10 т

Для підвищення ефективності часто впроваджуються рециркуляційні системи, які дозволяють повторно використовувати частину теплого повітря, знижуючи витрати пального.

Барабанна сушарка є надійним та економічно обґрунтованим варіантом сушіння зернових культур у промислових масштабах. Її простота, стабільність роботи, висока пропускна здатність та адаптивність до різних типів сировини роблять її незамінною на елеваторах, млинах і комбикормових підприємствах. Подальше вдосконалення стосується автоматизації процесу, зниження теплових втрат і застосування екологічних джерел енергії.

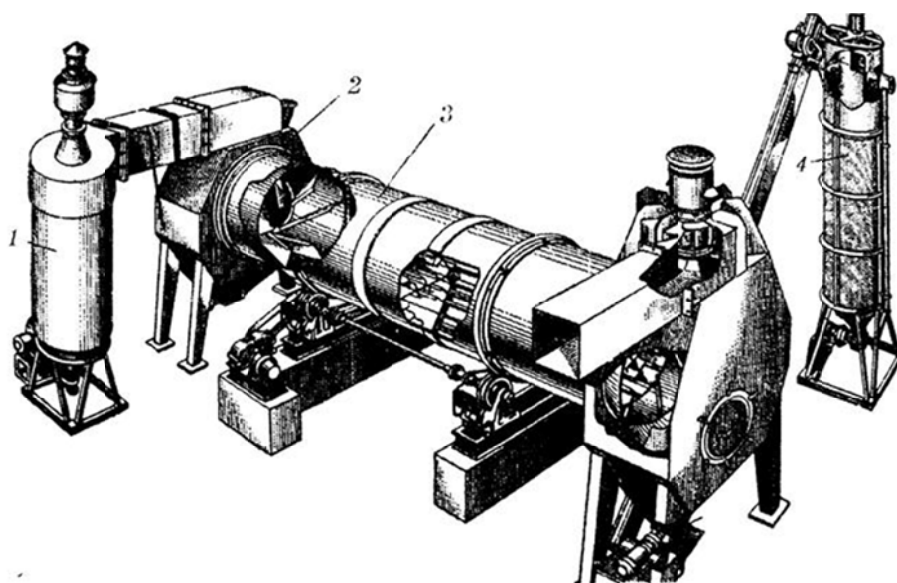


Рис. 1. Барабанна сушарка СЗСБ-8

1 - топка; 2 - завантажувальна камера; 3 - сушильний барабан;
4 - охолоджувальна колонка

2. Способи реалізації технологічного процесу та машинно-апаратне оформлення

У післязбиральній обробці зернових культур сушіння займає ключову позицію, оскільки саме ця операція забезпечує збереження зерна протягом тривалого періоду, запобігає розвитку мікроорганізмів, ферментативним процесам та втратам якості. Зерносушарки як технологічне обладнання є обов'язковим елементом елеваторів, аграрних підприємств, комбикормових і переробних заводів. З огляду на сучасні виклики — подорожчання енергоносіїв, кліматичні зміни, вимоги до якості продукту — зростає потреба в удосконаленні сушильних технологій, зокрема, в напрямку підвищення енергоефективності, автоматизації та зменшення впливу на навколишнє середовище.

2.1. Класифікація зерносушарок

Усі зерносушарки класифікуються за різними ознаками:

2.1.1. За способом передачі тепла:

Конвективні – найпоширеніші, де теплоносій (гаряче повітря) безпосередньо контактує із зерном;

Контактні (поверхневі) – нагрівання зерна відбувається через тверді нагріті поверхні без прямого контакту з гарячим повітрям;

Інфрачервоні – сушіння за допомогою ІЧ-випромінювання;

Діелектричні та мікрохвильові – за рахунок внутрішнього нагрівання води в зерні.

2.1.2. За конструкцією:

Шахтні сушарки – вертикальні конструкції з нерухомим шаром зерна, що поступово переміщується вниз;

Барабанні (ротаційні) – обертовий барабан, де зерно переміщується та контактує з потоком теплоносія;

Сушарки з псевдозрідженим шаром – активне перемішування зерна повітрям;

Агрегатні модульні – мобільні установки з блочною побудовою.

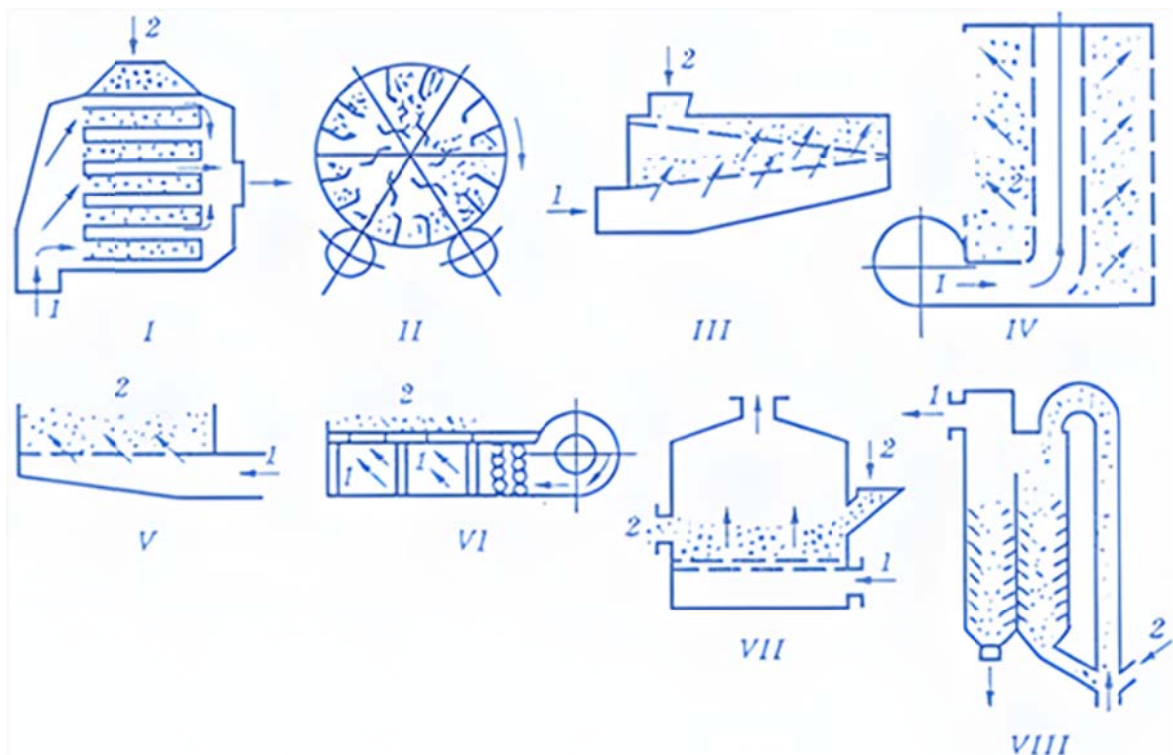


Рис. 2. Класифікація зерносушарок: I – шахтна; II – барабанна; III – вібраційна; IV – вентиляований бункер; V – декова; VI – наземна; VII і VIII – пневмогазова рециркуляційна; 1 – напрямок руху повітря; 2 – зерно

2.1.3. За режимом роботи:

Безперервної дії;

Періодичної дії.

2.2. Технологічні режими зерносушіння

Основні параметри сушіння зернових культур:

Початкова вологість зерна: 18–30 %;

Кінцева вологість: 13–14 % (для зберігання), до 12 % (для експорту);

Температура теплоносія: 100–130 °С;

Температура зерна на виході: до 50–60 °С;

Тривалість сушіння: 20–50 хв;

Витрати повітря: 5000–8000 м³/год на 1 тону.

Особливі режими застосовують для насінневого зерна: поступове поетапне сушіння з чергуванням охолодження та відволоження.

2.3. Енергоспоживання зерносушарок.

Сушіння зерна є енергоємним процесом. Основні статті витрат:

Теплова енергія: для випаровування 1 кг вологи потрібно 2,26 МДж;

Питомі теплові витрати: 2,2–3,5 МДж/кг води;

Електроенергія: 0,3–0,8 кВт·год/т;

ККД сушарки: 45–75 %.

Витрати значно залежать від типу сушарки, її конструкції, типу теплоносія (газ, дизель, біомаса, електрика) та наявності рециркуляційної системи.

2.4. Основні типи сушарок: переваги і недоліки

2.4.1. Шахтні сушарки

Переваги:

Компактність;

Висока продуктивність;

Простота обслуговування.

Недоліки:

Нерівномірність прогріву;

Низька гнучкість в роботі.

2.4.2. Барабанні сушарки

Переваги:

Інтенсивне перемішування;

Висока ефективність для вологих культур.

Недоліки:

Велика маса та габарити;

Підвищене енергоспоживання;

Часткові втрати пилоподібної фракції.

2.4.3. Сушарки з псевдозрідженим шаром

Переваги:

Висока швидкість сушіння;

Добра якість обробки.

Недоліки:

Висока вартість обладнання;

Складність обслуговування.

2.4.4. Мобільні сушарки

Переваги:

Можливість використання в полі;

Автономність.

Недоліки:

Низька продуктивність;

Часті зупинки на обслуговування.

2.4.5. Сушарки з обертовими поверхнями нагріву.

Цей клас сушарок поєднує принцип контактного сушіння з динамічним переміщенням зерна по гарячій поверхні, що обертається. Зазвичай конструкція передбачає обертовий барабан або диск, який нагрівається зсередини (пар, термальне масло, електронагрів).

Особливості:

Тепло подається безпосередньо до зерна;

Виключено пряме зіткнення з полум'ям;

Легко контролювати температуру поверхні;

Товщина шару зерна — 2–10 см.

Застосування:

Пророщене зерно;

Насіння соняшника;

Елітне насіння з високими вимогами до якості.

Технологічні режими:

Температура поверхні: 90–120 °С;

Тривалість сушіння: 5–20 хв;

Обертання: 3–6 об/хв.

Переваги:

Висока рівномірність сушіння;

Низькі втрати поживних речовин;

Можливість роботи при зниженому тиску (вакуум-сушарки).

Недоліки:

Обмежена продуктивність;

Складна герметизація вузлів;

Вища вартість обладнання.

2.5. Перспективи розвитку зерносушильного обладнання

Поточні світові тренди вимагають:

Зниження питомих енергозатрат: впровадження теплових насосів, ПЧ-нагріву, рекуперації;

Інтелектуалізація процесу сушіння: автоматика, вологоміри, прогнозування;

Модульність конструкцій — під конкретні об'єми зберігання;

Зменшення впливу на довкілля — біопаливо, фільтрація викидів, низькі температури;

Універсальність — можливість сушіння різних культур в одному агрегаті.

Сушіння зернових культур залишається невід'ємною частиною аграрного виробництва. Незалежно від типу сушарки — шахтна, барабанна чи контактна — ключовим завданням залишається ефективне зменшення вологості при мінімальних витратах енергії та збереженні якості зерна. Сушарки з обертовими нагрівальними поверхнями є перспективним напрямом у високотехнологічному секторі переробки зерна, зокрема для насінневої та органічної продукції. Подальші дослідження мають бути спрямовані на глибоке моделювання процесів сушіння, розробку адаптивних алгоритмів керування та застосування відновлюваних джерел енергії у сушильному обладнанні.

2.6. Енерговитрати і якість зерна при сушінні

У технологічних лініях зернопереробної промисловості найчастіше застосовуються сушильні установки конвективного типу. Хоча ці апарати забезпечують необхідний рівень зневоднення зерна, вони мають суттєвий недолік — високі енерговитрати (див. табл. 2). Крім того, у багатьох випадках відсутній ефективний контроль за якістю повітря, яке використовується як сушильний агент. Зокрема, під час спалювання рідкого палива утворюються продукти згоряння, що забруднюють повітряний потік, який проходить крізь зернову масу.

Серед основних забруднюючих компонентів — димові частинки, які є типовими для всіх видів рідкопаливного опалення. Окрім диму, в сушильному агенті можуть міститися оксиди вуглецю, сірки та азоту, а також незгорілі залишки вуглеводнів. Ці сполуки становлять потенційну загрозу як для навколишнього середовища, так і для здоров'я людини.

Димові аерозолі можуть містити канцерогенні речовини, що осідають на зерні. Незгорілі вуглеводні здатні надавати готовому продукту неприємного запаху, що знижує його товарну якість. Оксиди сірки є хімічно активними — вони спричиняють корозію обладнання та сприяють утворенню сірчаної кислоти, що накопичується на внутрішніх поверхнях сушарки.

Відомо, що оксиди азоту і вуглецю мають токсичну дію на живі організми, про що неодноразово повідомлялося у наукових дослідженнях. Саме тому, під час вибору джерела тепла для сушіння зерна, доцільно враховувати екологічні ризики та передбачати системи очищення або фільтрації сушильного агента.

Аналіз джерел теплової енергії показує, що з екологічної точки зору найбільш чистими є електронагрів і теплові насоси, хоча вони потребують значних інвестицій. Природний газ є компромісом між економічністю та впливом на довкілля, тоді як дизельне паливо варто уникати через підвищені

викиди та запах. Використання біомаси актуальне в регіонах з локальними ресурсами, однак потребує належної системи контролю згоряння.

Таблиця 2

Витрати теплової енергії при сушінні зерна

Джерело енергії	Витрати палива (на 1 т випареної вологи)	Викиди CO ₂ (кг/т)	NO _x (мг/м ³)	SO _x (мг/м ³)	Коментар
Природний газ	1,1–1,3 м ³	190–210	50–100	≤5	Низькі викиди, стабільна подача
Дизельне паливо	1,6–1,8 л	250–280	200–300	30–60	Високі викиди, потребує фільтрації
Біомаса (лушпиння, тріска)	1,5–2,0 кг	50–100	80–150	10–20	Низький CO ₂ , нестабільне горіння
Електроенергія (ТЕНи)	120–140 кВт·год	0	0	0	Найчистіше рішення, дороговартісне
Теплові насоси	40–60 кВт·год/т	0–20	0	0	Висока енергоефективність, дорога інфраструктура

3. Критичний огляд існуючого технологічного обладнання

3.1 Осушувачі шламу NEWater

Осушувачі шламу NEWater призначені для малих, середніх та великих генераторів шламу зі строгими екологічними вимогами термічного вилучення. Розміщення системи безпосередньо під фільтраційним обладнанням може ефективно заощадити на обробці матеріалів та скоротити транспортні витрати на 50-75%.

Трубчаста нагрівальна сорочка: може забезпечити дуже рівномірне нагрівання. Сушарка забезпечується 80 мм шаром мінеральної ізоляції для мінімізації втрат тепла.

Порожній диск: збільшена поверхня нагрівання. Зварна зона набагато менша, ніж у інших типів лопаток. Поверхня диска, що самоочищається, значно покращує теплопередачу, а невеликі лопатки, приварені до диска під різними кутами, забезпечують ідеальне змішування і переміщення вологого матеріалу. Односторонні з'єднання, що обертаються, використовуються для забезпечення того, щоб кожен порожнистий диск був заповнений масляним теплоносієм.

Система очищення вихлопних газів: Поєднання циклону, трубчастого конденсатора і двоступінчастого скрубера дозволяє до стандартів викидів.



Рис. 3. Осушувач шламу NEWater (Китай)

Через сушарку шламу система попередньо нагрітого повітряного потоку забирає вологу з верхній частині внутрішньої сушарки та вивантажує її через нашу систему мокрого очищення. Після зневоднення протягом зазвичай 4-6 годин (залежно від типу та вологості шламу) висушений матеріал вивантажується під дією сили тяжкості в ємність через розвантажувальну пластину під пристроєм.

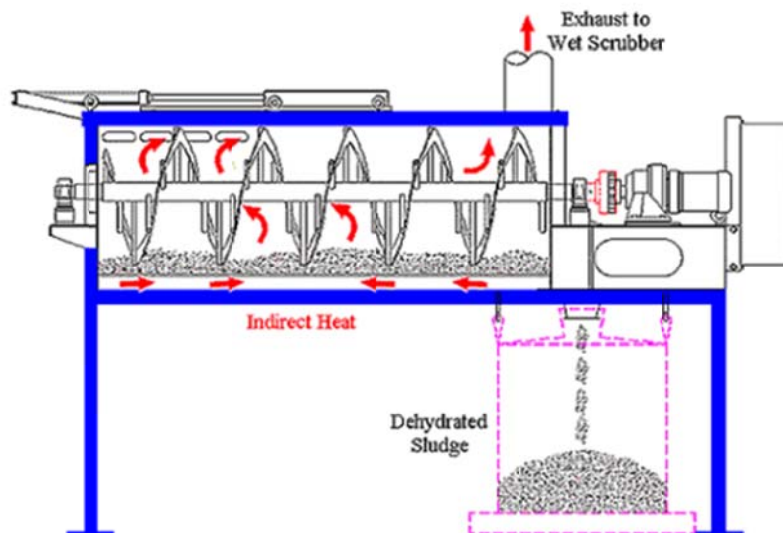


Рис. 4. Схема роботи осушувача шламу NEWater (Китай)

1. Теплова ефективність 95%.
2. Теплоносій не стикається з продуктом.
3. Для транспортування продукту газ не використовується.
4. Рівномірна якість продукції за рахунок змішування та переміщення продуктів.
5. Високе відношення площі теплопередачі до об'єму процесу - зменшення займаної площі.
6. Безпечніше, ніж пряме сушіння при обробці горючих матеріалів.
7. Проста конструкція, зручність експлуатації та обслуговування.
8. Компактна машина, що займає мало місця та має низькі витрати встановлення.
9. Попередня обробка шляхом змішування з витягнутим сухим продуктом не потрібно, що знижує капітальні, експлуатаційні витрати.

3.2 Сушарка KJG Paddle

Сушарка KJG Paddle є високоефективним сушильним пристроєм, який зазвичай використовується для сушіння комунальних відходів, промислових відходів, паперових відходів, бурового шламу, біомаси, перероблених добрив тощо.

Принцип роботи та застосування:

Принцип роботи: Сушарка KJG з лопатями є високоефективним, механічно агітованим процесором непрямого нагріву. Сушарка KJG з лопатями складається з сорочки і двох протиповоротних валів з унікальними порожніми дисками для забезпечення інтенсивного змішування та оптимізації передачі тепла. Теплоносій, такий як пара, гаряча вода або гаряче масло, примусово циркулює всередині обігріває сорочку та порожні диски, що утворюють поверхню нагріву.

Вологий матеріал транспортується через сушарку лопатями зварених на периферії дисків. При регулярному змішуванні, переміщенні та передачі тепла волога випаровується швидко і рівномірно. Коли вологий матеріал досягає протилежного кінця сушарки, він висихає і вивантажується. Випарена волога відсмоктується вентилятором і проходить через циклон, конденсатор та вологий скруббер для значного зниження забруднення повітря.

Застосування: Сушарка KJG з лопатями широко застосовується для сушіння комунальних відходів, промислових відходів, паперових відходів, бурового мулу, біомаси, переробленого гною і т.д. з продуктивністю від 100 кг/год до 3 тонн/год.

Технічні характеристики:

1. Переваги порожніх дисків: Порожнистий диск зварюється із двох половинок штампованої дискової пластини по краю. Порівняно з традиційними клиноподібними лопатями він має такі переваги:

- Можна встановити більше порожнистих дисків збільшення площі

нагрівання;

- Порожнистий диск має значно більший термін служби завдяки міцній конструкції, меншій кількості зварних швів та меншому тертю із сировиною;

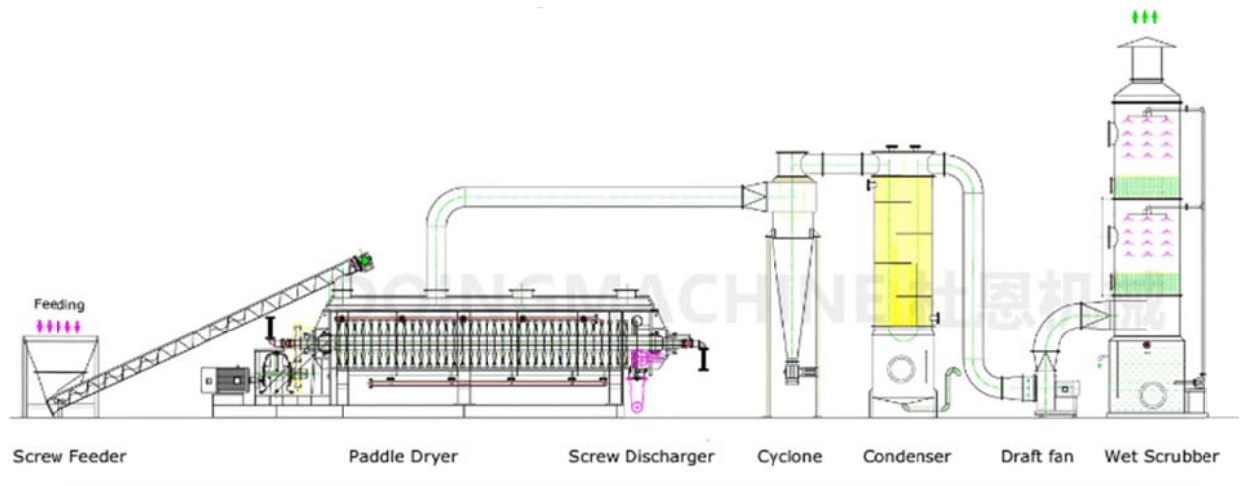


Рис. 5. Схема роботи сушарки KJG Paddle

- Лопаті змішувача, зварені на краю диска під різним кутом та в різній кількості, ідеально перемішують, переміщують та дроблять вологий матеріал для рівномірного та високошвидкісного теплообміну. Він працює як двовальний шнек.
- Порожнистий диск має функцію самоочищення завдяки своїй унікальній структурі, а також лопаті, що зачіплюються, допомагають очищати поверхню диска для інтенсивного теплообміну.
- Пластини всередині дисків можуть забезпечити те, що нагрівальне середовище досягає кожного кута і змушене текти назад у центральну трубу.

2. Високий тепловий ККД: Процес висушування здійснюється в добре ізольованому жолобі, і непряме нагрівання може мінімізувати потік газів, що відходять, значно знижуючи втрату тепла. Тепловий ККД може досягати 95%.

3. Екологічний дизайн: Система очищення газів, що включає циклон, трубчастий конденсор, одноступінчасту або двоступінчасту вологий скруббер може досягти дуже високих стандартів викидів.

4. Компактна структура: Велика площа теплообміну щодо об'єму досягається за рахунок використання порожнистих дисків через які протікає нагрівальне середовище. Результатом є компактна машина з меншими вимогами до простору та нижчою вартістю установки.

5. Широке застосування: Сушарка KJG може обробляти різні види сировини, будь то густа рідина, суспензія, липка паста, вологий порошок, дрібні гранули і т.д. Процес сушіння може бути як партійним, і безперервним.

Таблиця 3

Технічні параметри:

Модель	KJG-10	KJG-20	KJG-30	KJG-60	KJG-80	KJG-100
Загальна площа нагріву (М2)	10	20	30	60	80	100
Привідний двигун (КВт)	5.5	7.5	11	30	37	45
Максимальна температура сушіння	250 °C					
Швидкість випаровування	8-10 кг води/м ² / год					
Нагрівальний носій	Пара або гаряче термічне масло					
Робочий тиск	0,6 МПа					

Примітка: сушильний апарат KJG з вальцями доступний у різних розмірах та конфігураціях. Наведені вище моделі з типовим дизайном мають виключно ознайомлювальний характер.



Рис. 6. Шнек сушарки KJG Paddle

3.3 Дискава лопатева сушарка

Дискава лопатева сушарка - надзвичайно універсальне обладнання вона часто застосовується в харчовій, хімічній, нафтохімічній, фармацевтичній промисловості та для утилізації відходів. Здатність до теплопередачі, охолодження та перемішування дозволяє пристрою виконувати низькотемпературну кальцинацію для певних руд, сушіння (відновлення розчинника), нагрівання (плавлення), а також стерилізацію для широкого спектру матеріалів. лопать використовує спеціальну функцію перемішування стиснення-розширення, щоб гарантувати, що матеріали щоразу рівномірно перемішуються.

Використовуючи масло як теплоносій, лопатева сушарка може виконувати операції низькотемпературної кальцинації. Наприклад, дигідрат сульфату кальцію ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) кальцинується до напівгідрату сульфату кальцію ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$), а бікарбонат натрію (NaHCO_3) кальцинується до карбонату натрію (Na_2CO_3).

Кормова промисловість:

Кісткове борошно, барда, харчові відходи, яблучна макуха, апельсинова цедра, соєвий шрот, корм для тварин, рибне борошно, кормові добавки, біошлам.

Харчова промисловість:

Крохмаль, какао-боби, кукурудза, сіль, модифікований крохмаль, фармацевтичні препарати.

Хімічна промисловість:

Карбонат натрію, добрива NPK, каолін, бентоніт, сажа, фосфогіпс, оксид натрію, нітрат кальцію, карбонат магнію, ціанід натрію, гідроксид алюмінію, сульфат барію, сульфат кальцію, карбонат кальцію, барвники, молекулярні сита, сапонін.

Охорона навколишнього середовища:

Осад промислових стічних вод, осад стічних вод після електролізу, ко-

тельня сажа, відходи фармацевтичних заводів, відходи цукрових заводів, вугільна зола.

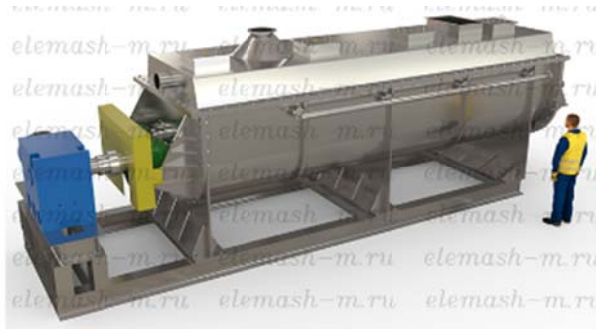


Рис. 7. Дискава лопатева сушарка

Дискава лопатева сушарка призначена для нагрівання, охолодження, сушіння та стерилізації матеріалів для різних галузей промисловості. Машина представляє собою порожній корпус, що обігривається з розташованими в ньому валами з поданим всередину теплоносієм або холодоагентом. Машина виготовляється в різних варіантах з кількістю валів від одного до чотирьох.

Дискава сушильна машина максимально використовує площу всіх робочих поверхонь для передачі тепла та мінімізує потік повітря, щоб зменшити втрати тепла. Даний тип сушарок зазвичай використовується для теплового сушіння та перемішування сипучих матеріалів. Порошків, гранул, фільтраційного кека та аналогічних продуктів.

Принцип роботи:

Елементи теплопередачі дискової лопатевої сушарки включають самі порожні дискові лопаті, порожній перемішувачий вал і порожнисті поверхні бічних стінок сушильного обладнання. У порожнинах циркулює теплоносій або холодоагент. Конструкція сушарки компактна, але вона має високу площу теплопередачі.

Сушарка починає роботу після прогріву всіх агрегатів. Вали з дисковими лопатями спеціально розроблені для рівномірного нагріву та перемішування всього вмісту та розбивання грудок і великих шматків, які можуть утворитися у процесі сушіння. Час сушіння залежить від вологості висушуваного матеріалу, а також від конкретних властивостей матеріалу, тому про-

цес може зайняти від кількох хвилин до кількох годин. Швидкість подачі, швидкість перемішуючого валу та температуру можна регулювати для отримання оптимального процесу сушіння. Дискові сушарки можна використовувати як у циклічному так і в безперервному режимі сушіння. Для регулювання продуктивності подачі на вході та виході сушарки можуть встановлюватися різні типи живильників продукту (лопатові шлюзи, шнекові та стрічкові живильники).

Особливості:

Мінімальне споживання тепла: завдяки непрямому нагріванню всередині камери та теплоізоляційному шару всередині зовнішньої стінки сушарки тепло, яке подається для сушіння матеріалів, зберігається всередині системи. Кількість тепла, що виробляється для випаровування 1 кг вологи, значно менше, ніж потрібно на відкритому повітрі.

Ефективність роботи: сушильний агрегат відрізняється високою ефективністю при мінімальному споживанні енергії, а весь пристрій має компактну конструкцію в порівнянні з аналогічними промисловими сушарками, що значно економить площа приміщень для підприємства.

Низький рівень викидів: час роботи сушарки камери герметична, що запобігає витік пилу або парів. Агресивні пари можуть збиратися і за допомогою різних фільтрів нейтралізуватися.

Низькі експлуатаційні витрати та ефективна конструкція робить технічне обслуговування простим.

Самої важливою особливістю сушарки з лопатями є лопать. Конструкція лопаті представляє собою клиноподібне порожнє півколо, яке дозволяє матеріалу потрапляти до нього в порожні пази при обертанні валу. Всередині валу та дискових лопатей знаходиться теплоносій (пар, гаряча вода, термомасло) бічні поверхні лопаті нахилені так, що коли матеріал стикається з поверхнею, гранули зісковзують з дискових лопатей. Дно лопаті трикутне, щоб уникнути будь-яких мертвих кутів всередині камери.

4. Обґрунтування розробки обраної конструкції

У зв'язку зі зростанням чисельності населення на планеті, спостерігається стаке зростання попиту як на енергоресурси, так і на високоякісні харчові продукти. У цьому контексті ключове значення має оптимізація виробничих процесів у харчовій промисловості, зокрема з точки зору енергоефективності та якості кінцевого продукту. Одним із найбільш енергоємних процесів у агропромисловому комплексі є сушіння зерна, на яке в деяких країнах припадає до 25 % загального енергоспоживання в харчовому секторі [3].

Зібране зерно зазвичай має підвищену вологість (від 20 до 30 %), що не дозволяє зберігати його без попереднього сушіння. За оцінками, після збирання врожаю близько третини всього обсягу зернових культур потребує обов'язкової сушильної обробки [4]. Вчасне зниження вологості зерна до допустимого рівня (12–14 %) є критичним фактором для забезпечення збереженості та недопущення псування сировини.

Найбільш поширеним типом обладнання для зневоднення зерна є конвективні шахтні сушарки зі змішаним потоком, які забезпечують неперервний режим обробки. Однак даний тип установок має низький коефіцієнт корисної дії тепла та не завжди гарантує екологічну безпечність процесу. У багатьох промислових моделях конвективних сушарок теплоносієм слугують продукти згоряння природного газу або дизельного палива, що подаються безпосередньо до зернової маси. Такий підхід створює потенційний ризик забруднення продукту токсичними домішками, зокрема залишками оксидів азоту, сірки, вуглецю та канцерогенними речовинами з диму.

У зв'язку з цим, питання вдосконалення сушильних систем для зерна залишається надзвичайно актуальним. Сучасні дослідження мають бути спрямовані на зниження теплових втрат, запобігання шкідливим викидам, зменшення енерговитрат, а також створення конструкцій нового покоління, які забезпечують рівномірне сушіння, збереження харчової цінності продукту

та екологічну безпеку. Розробка інноваційних сушарок з контактним або комбінованим способом передачі тепла, включаючи моделі з обігрівом обертючих поверхонь, відкриває нові можливості для ефективного сушіння зернових культур з мінімальними втратами та впливом на довкілля.

Перспективним є застосування теплових трубок та термосифонів в процесах тепло- масообміну харчової промисловості.

Переваги застосування в харчовій промисловості:

Висока швидкість передачі тепла — в 50–200 разів вища за традиційні метали.

Низькі енергетичні витрати — не потребують насосів або зовнішньої енергії.

Компактність — можливість інтегрувати у вузький простір.

Надійність і довговічність — відсутність рухомих частин.

Безшумність — важливо для виробництва з високими гігієнічними вимогами.

Стабільність роботи при змінних навантаженнях.

Застосування в харчовій промисловості:

Сушильне обладнання.

У вакуумних і контактних сушарках теплові труби застосовуються для передачі тепла до поверхонь, де відбувається випаровування вологи. Це дозволяє знизити температуру сушіння та зберегти термолабільні компоненти (вітаміни, ароматичні речовини).

Конденсатори й випарники.

У випарних установках (наприклад, при згущенні соків або молока) термосифони використовуються для підтримки рівномірної температури по поверхні.

Температурне кондиціонування.

На лініях фасування чи пакування (особливо шоколаду, йогуртів, дитячого харчування) теплові труби використовують для охолодження форм або

стабілізації температури термоформувальних машин.

Стерилізація і пастеризація.

Теплові труби інтегрують у стерилізаційні камери або автоклави, де потрібна швидка подача й відведення тепла, рівномірний розподіл температур.

Сонячні системи нагріву.

У харчових цехах з автономним енергопостачанням (малі підприємства, сільські господарства) теплові труби застосовуються в колекторах для нагріву води.

Приклади використання.

У вакуумних сушарках для ягід та зелені — термосифони дозволяють висушити продукт при 40–50 °С, що зберігає колір і аромат.

У охолоджених формах для шоколаду — забезпечення стабільних 18–20 °С.

У фасувальних машинах — теплові труби підтримують температуру зварювання плівки в межах ± 2 °С.

У міні-молокозаводах — теплообмін з використанням теплових труб дозволяє одночасно пастеризувати і охолоджувати молоко без зовнішніх насосів.

Висновки

Теплові труби та термосифони демонструють вражаючу ефективність у теплових процесах, що широко використовуються в харчовій галузі. Їх використання дозволяє знизити енергоспоживання, підвищити якість обробки харчових продуктів та оптимізувати технологічні процеси без складного обладнання. З огляду на їх екологічність, надійність та універсальність, ці пристрої мають великий потенціал для ще ширшого впровадження в харчову промисловість.

5. Технічне завдання на проектування

1. Найменування і область застосування:

- 1) Машина призначена для сушіння дисперсних матеріалів;
- 2) Область застосування в лініях сушіння зернових;
- 3) Поставка машини на експорт не передбачена.

2. Підстава для розробки:

1) Підставою для розробки є завдання на дипломний проект по кафедрі ПО та ЕМ ОНТУ.

3. Мета і призначення розробки:

1) розробка проводиться з метою:

- створення енергоефективної машини для сушіння зернових;

4. Джерела розробки.

1) При розробці машини повинні бути використані наступні джерела:

- патенти, каталоги, науково-технічна література;

- авторські свідоцтва.

5. Технічні вимоги:

1) Машина складається з наступних основних складальних одиниць:

Барабан;

Пристрій для завантаження;

Пристрій для розвантаження;

Камера змішування;

Теплогенератор;

Ролик опорний;

Привід;

Шнек.

2) Габаритні розміри, не більше:

- довжина – 15 500 мм;

- ширина - 8100 мм;

- висота - 4500 мм.

3) Маса – 2000 кг

4) Машина повинна встановлюватися в лініях переробки зерна;

5) Вимоги до засобів захисту і стійкості до миючих засобів:

- всі зовнішні металеві поверхні машини повинні бути пофарбовані світло-коричневою емаллю ПФ-115 по ДСТУ 6465-63, 5-го класу до впливу спеціальних засобів - 4/1 по ДСТУ 9.032-7;

7) Вимоги до мийних засобів, мастил:

- машина повинна митися засобами, що застосовуються в зернопереробній промисловості для миття технологічного обладнання без пошкоджень і псування;

8) Запасні частини повинні забезпечувати роботу машини до першого капітального ремонту.

6. Показники призначення:

1) Продуктивність – 1500 кг / год;

2) Встановлена потужність приводу, кВт - до 3.

3) Теплова потужність до 160 кВт

7. Вимоги до надійності:

1) Гарантійний термін, міс - 12;

2) Коефіцієнт готовності - 0,95;

3) Коефіцієнт технічного використання - 0,9;

4) Напрацювання на відмову, годину не менше - 100;

5) Вимоги до машини в плані стійкості від зовнішніх впливів вібрації та електричних магнітних полів не пред'являються.

8. Вимоги до технологічності:

1) Спеціальні вимоги до технологічності не пред'являються.

9. Вимоги до рівня уніфікації та стандартизації:

1) коефіцієнт застосовності, % не менше - 35;

2) коефіцієнт повторюваності, не менше - 2,5.

10. Вимоги до безпеки:

1) При розробці машина забезпечує виконання вимог до безпеки обслуговуючого персоналу згідно:

- ГСТ 27-00-216-75 «Система стандартів безпеки праці, машини і обладнання продовольчі. Загальні вимоги безпеки »;

- «Інструкція з техніки безпеки до виробничої санітарії для консервної, харчоконцентратної і овочесушильної промисловості»;

2) Звукова потужність, яку випромінює машина в режимі номінальної продуктивності в виробничому приміщенні не повинна створювати на робочому місці рівня звуку і рівня звукового тиску в октавних смугах частот спектра перевищують допустимі Гігієнічних норм звукового тиску і рівня на робочих місцях № 1004-73.

Чисельна величина підлягає визначенню при приймальних випробуваннях відповідно до ДСТУ 8.055-73;

3) Рівні віброшвидкості в октавних смугах частот на робочому місці у жорстко закріпленої машини, що працює в режимі номінальної продуктивності, не повинні перевищувати допустимих «Санітарними нормами СН-245-71».

Чисельна величина підлягає визначенню при приймальних випробуваннях відповідно до ДСТУ 13731-68.

11. Естетичні і ергономічні вимоги.

1) Вимоги технічної естетики:

- композиційної рішення машини повинні відповідати функціональному призначенню і бути технічно і економічно обґрунтованим;

- забезпечити єдність стильового рішення елементів форми машини;

- форма машини в композиційному відношенні повинна відповідати умовам експлуатації;

- для обробки поверхні застосувати лакофарбовий матеріал з гладкою напівматовою структурою;

- кількість кольорів для забарвлення машини не більше 3;

2) Ергономічні вимоги:

- допустимі зусилля, прикладені до робочих органів машини, а також допускається вага об'ємних елементів машини по ДСТУ 27-00-216-75;

- конструкція форми машини повинна забезпечити обслуговуючому персоналу легкість доступу до функціональних зон і безпеку роботи з її обслуговування;

- передбачити надійний захист обертових частин машини.

При розробці забезпечити патентну чистоту по Україні та іншим країнам, так як виробництво машини для поставки на експорт не намічається, згідно ЗП-1-70.

13. Вимоги до складових частин продукції:

3) Основним матеріалом для виготовлення машини є вуглецева сталь звичайної якості ДСТУ 380-74 і нержавіюча сталь ДСТУ5632-72;

4) Застосовувані в машині матеріали і комплектуючі вироби повинні відповідати вимогам державних і галузевих стандартів, технічних умов.

12. Умови експлуатації:

1) Сировина, що підлягає переробці, має відповідати вимогам ДСТУ і технічних умов;

2) Машина повинна надійно працювати на режимах при температурах навколишнього середовища від +10 °С до +45 °С;

3) Режим роботи - дві зміни на добу протягом сезону переробки;

4) Обслуговування машини періодичне;

5) Обслуговуючий персонал - три робочих 2-го розряду;

6) Після транспортування і зберігання машина підлягає монтажу.

13. Вимоги до маркування та упаковки:

1) Маркування та упаковка машини повинні відповідати вимогам ГСТ 27-00-37-71 «Машини та обладнання продовольчі. Загальні технічні умови »;

2) Консервація машини повинна проводитися відповідно до вимог

ДСТУ 13168-69;

3) Машина призначена для встановлення на бетонну підлогу.

14. Вимоги до транспортування, зберігання:

1) Транспортування машини може здійснюватися будь-яким видом транспорту у відповідності з їх правилами перевезень;

2) Спеціальні правила захисту від ударів при навантаженні і розвантаженні не передбачаються;

3) Упаковка і консервація повинні забезпечувати збереження машини протягом 24 місяців з дня її відвантаження споживачеві.

15. Стадії та етапи розробки (відповідно до ДСТУ 2.103-68):

1) Розробка технічного завдання, його погодження та затвердження;

2) Розробка документації на дослідний зразок:

- розробка конструкторських документів, призначених для виготовлення та випробування дослідного зразка;

- виготовлення і заводські випробування дослідного зразка;

- коригування конструкторських документів за результатами виготовлення і випробувань дослідного зразка;

- міжвідомчі випробування дослідного зразка;

- перший етап заводських випробувань проводиться на підприємстві-виробнику, другий - на підприємстві-споживачі.

16. Порядок контролю і приймання:

1) Розробка проекту ведеться одностадійно;

2) Конструкторська документація підлягає узгодженню і затвердженню відповідно до ГСТ 27.00-5-74 і ГСТ 27-00-4-75.

6. Технічний проект

6.1. Опис запропонованої машини, принцип дії, устрій

У харчовій промисловості важливим завданням є ефективне управління тепловими процесами: пастеризація, стерилізація, концентрування, сушіння, охолодження тощо. Витрати енергії в цих процесах значні, тому зростає інтерес до пасивних і енергоощадних методів переносу тепла. Одним із перспективних рішень є використання теплових труб і термосифонів — компактних теплообмінних пристроїв, що функціонують за рахунок фазових переходів робочого тіла. Їх ефективність, надійність і простота зробили їх актуальними не лише в електроніці чи енергетиці, а й у харчовій промисловості.

1. Принцип роботи теплових труб

Теплова труба (heat pipe) — це герметична металева трубка, всередині якої створено частковий вакуум і заправлено невелику кількість робочої рідини (вода, спирт, аміак, ацетон). У найпростішому вигляді вона має три зони:

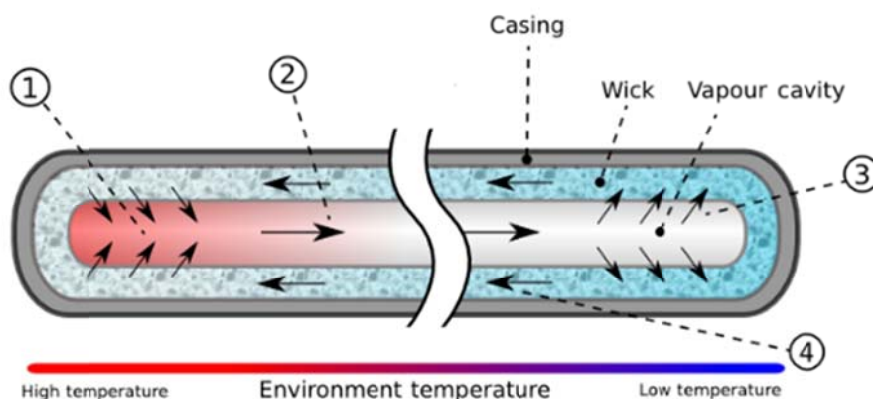


Рис. 8. Схема теплової труби:

1. Зона випаровування (випарник) — теплоприймальна частина, де рідина поглинає тепло і випаровується;
2. Капілярна система (фільтр, сітка, пористий шар) — повертає конденсат до випарника завдяки капілярному ефекту.

3. Зона конденсації (конденсатор) — тепловідвідна частина, де пара віддає тепло й конденсується;

Тепло передається у вигляді прихованої теплоти випаровування та конденсації. У тепловій трубці теплопровідність у десятки разів перевищує металеві провідники (до 10^5 Вт/м·К). За рахунок пасивної циркуляції забезпечується надзвичайно ефективне транспортування енергії з мінімальними втратами.

Термосифони: різновид теплових труб.

Термосифон — це різновид теплової трубки, що не має капілярної структури. Повернення рідини з конденсатора до випарника здійснюється самопливом під дією сили тяжіння. Тому термосифони зазвичай орієнтовані вертикально або з нахилом.

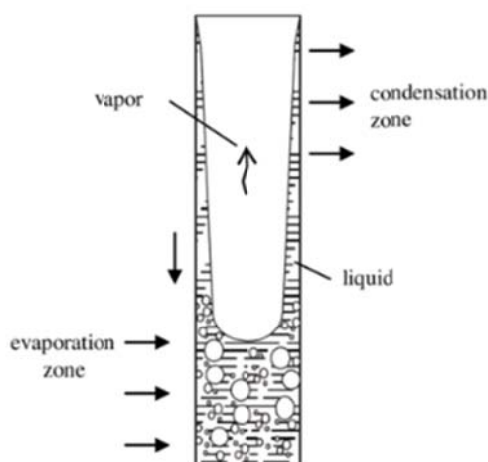


Рис. 9. Схема термосифону

Його головні частини: випарник — нижня частина, що нагрівається; паровий канал — зона, де пара піднімається до конденсатора; конденсатор — верхня частина, де пара віддає тепло; зворотний потік — рідина стікає по стінках трубки.

Такі пристрої мають простішу конструкцію, дешевші у виробництві, проте залежать від положення у просторі.

Матеріали корпусу теплових труб та термосифонів мають відповідати наступним вимогам:

висока теплопровідність (мідь, алюміній, нержавіюча сталь);
корозійна стійкість (особливо у харчовому середовищі);
герметичність і стійкість до тиску пари.

Капілярна структура у теплових трубах виконується із сіток із нержавіючої сталі, керамічних пористих вставок або порошкових металів.

Розроблена сушарка (рис. 10) має сушильний барабан 1, виконаний у вигляді кільцевого термосифону 2. Сушильний барабан 1 встановлено під нахилом 15° і виконано з можливістю обертання навколо своєї осі від опорно-приводних роликів 3. З обох торців сушильний барабан 1 обладнано нерухомими кришками 4, 5. Між нерухомими кришками 4 і 5 та сушильним барабаном передбачені ущільнення (на креслені не показані) для недопущення втрат матеріалу. Ззовні до вікон завантаження та вивантаження матеріалу приєднані, відповідно, завантажувальний бункер 6 та вивантажувальний патрубок 7. До вікна відведення вологого повітря приєднано вентилятор 8.

Кільцевий термосифон являє собою циліндричну герметично закриту порожнину, частково заповнену рідким теплоносієм 9. Термосифон умовно розділено на випарну та конденсаційну ділянки. В зоні випарної ділянки приєднано газохід 10.

Також всередині барабану знаходиться шнековий термосифон 11, який складається з випарника 12 та конденсатора 13. В зоні випарника приєднано газохід 14. У рух шнековий термосифон приводиться за рахунок привода 15.

Сушарка працює у наступному порядку. Топкові гази надходять до газоходу 10, в якому нагрівають випарну ділянку кільцевого термосифона. Рідкий теплоносій 9 випаровується, пара заповнює конденсаційну ділянку кільцевого термосифона 2.

Також топкові гази надходять до газоходу 14, в якому нагрівають випарник шнекового термосифона. Рідкий теплоносій випаровується, пара заповнює конденсатор ділянку термосифона 13.

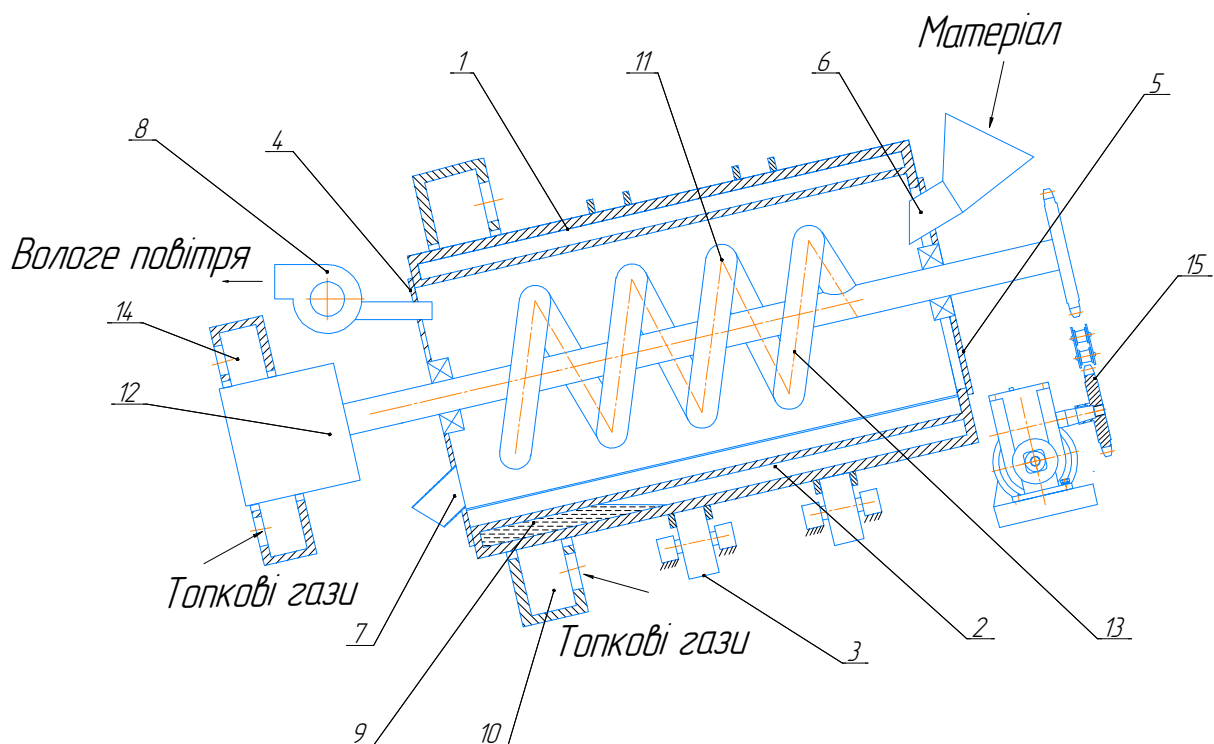


Рис. 10. Конструкція шнекової сушарки з кільцевим термосифоном

Матеріал подається у завантажувальний бункер 6, з якого сушильний барабан 1. Матеріал, наприклад зерно, стикається з внутрішньою нагрітою поверхнею конденсаційної ділянки кільцевого термосифона і нагрівається.

Також матеріал стикається з нагрітим конденсатором шнекового термосифона 13 і нагрівається.

Волога випаровується з матеріалу та виводиться за допомогою вентилятора 8. Пара теплоносія конденсується та під дією гравітаційних сил повертається до випарної ділянки. Полички 16 при обертанні барабана 1 піднімають продукт, та додатково його перемішують, відбувається інтенсифікація процесу сушіння. За рахунок кута нахилу барабана 1 продукт рухається до вивантажувального патрубку 7. Привід барабана 1 відбувається за рахунок опорно-приводних роликів 3.

За рахунок обертання шнекового термосифону можливо інтенсифікувати процес, а саме за рахунок додаткового перемішування. Також можливо впливати на швидкість просування продукту вздовж барабану, пришвидшувати або навпаки вповільнювати.

6.2 Технологічний розрахунок

Для розрахунку барабанної сушарки використовують наступні вихідні дані:

1) Масова продуктивність сушарки за вологою сировиною $G_{\Pi} = 1500$ кг/год;
 $G_{\Pi} = 0,278$ кг/с;

2) вид матеріалу, що висушується;

3) Початкова і кінцева вологість висушуваного матеріалу, %; $W_{\Pi} = 25$ %
 $W_{\kappa} = 14$ %

4) місто, в якому буде встановлена сушарка, або кліматичні параметри повітря температура і вологість навколишнього повітря для літніх та зимових умов);

Літо	Зима	
$t_0 = 22,6$ °C	$t_0 = -3,1$ °C	м. Одеса
$\varphi = 61$ %	$\varphi = 88$ %	

5) Початкова температура матеріалу $t_{31} = 15$ °C

6) Температура повітря на вході в сушарку $t_1 = 20$ °C

7) Температура відпрацьованого агента сушіння на виході із сушильного барабана $t_2 = 25$ °C

Матеріальний баланс процесу сушіння. Визначення витрати тепла в калорифері та витрати повітря

Матеріальний баланс за загальною масою:

$$G_{\Pi} = G_{\kappa} + W \quad (1)$$

Матеріальний баланс по сухій речовині:

$$G_{\Pi} \cdot \frac{100 - \omega_{\Pi}}{100} = G_{\kappa} \cdot \frac{100 - \omega_{\kappa}}{100} \quad (2)$$

На підставі матеріальних балансів за загальною масою та сухою речовиною визначають кількість випаровуваної із сировини води та вихід сухого продукту:

$$W = G_{\Pi} \cdot \frac{\omega_{\Pi} - \omega_{\kappa}}{100 - \omega_{\kappa}} = 0,278 \cdot \frac{25 - 14}{100 - 14} = 0,036 \text{ кг/с};$$

де: G_{Π} – маса вологого матеріалу, кг/с;

G_{κ} – маса сухого продукту, кг/с;

W – маса випареної води, кг/с;

$w_{п}$ - початкова вологість матеріалу, %;

$w_{к}$ - вологість сухого продукту, %;

Для розрахунку витрати сухого повітря та витрати теплоти на його нагрів графо-аналітичним шляхом будують процес нагрівання повітря.

I-х діаграмі, використовуючи для побудови задані параметри агента сушіння.

Літо	Зима
$x_0 = 0,01$ кг/кг	$I_1 = 55$ кДж/кг
$x_2 = 0,014$ кг/кг	$I_0 = 50$ кДж/кг

Матеріальний баланс сушильної установки з вологи:

$$W + L \cdot x_0 = L \cdot x_2 \quad (3)$$

звідки витрати сухого повітря L

$$L = \frac{W}{x_2 - x_0} = \frac{0,036}{0,014 - 0,01} = 9 \text{ кг/с};$$

де: L - Витрата сухого повітря в сушарці, кг/с;

x_0, x_2 - вологовміст повітря початковий і на виході з сушарки, кг /кг.

Тепловий баланс калориферу (кількість тепла на процес)

$$Q = Q_{\text{нагр}} + Q_{\text{пов}} + Q_{\text{вип}}$$

Звідси витрати теплоти на нагрів повітря в сушарці

$$Q_{\text{пов}} = L (I_1 - I_0) = 9 \cdot (55 - 50) \cdot 10^3 = 45000 \text{ Вт}$$

де: I_0 - ентальпія навколишнього повітря, Дж/кг;

Витрати теплоти на випаровування вологи

$$Q_{\text{вип}} = W \cdot r = 0,036 \cdot 2376 \cdot 10^3 = 85536 \text{ Вт}$$

Витрати теплоти на нагрів зерна

$$Q_3 = G_{п} \cdot C \cdot (t_{32} - t_{31}) = 0,278 \cdot 2250 \cdot (60 - 15) = 28147,5 \text{ Вт}$$

$t_{32} = 60$ °С температура сушіння зерна

$Q_{\text{втр}}$ - втрати теплоти в довкілля, приймають як

3...5% від корисної витрати тепла, Вт;

Загальна кількість тепла на процес

$$Q = 45000 + 85536 + 28147,5 = 158683,5 \text{ Вт}$$

Визначення конструктивних параметрів барабана та вибір барабана

Основні конструктивні параметри барабанної сушильної

установки: - Довжина барабана, Lб;

- Діаметр барабана, Дб;

- Об'єм барабана, Vб;

- кут нахилу барабана до горизонталі β ;

- час перебування продукту в барабані τ ;

- Частота обертання барабана n ;

Для подальших розрахунків, за довідниками теплофізичних властивостей харчових продуктів, виходячи із значення середньої вологості матеріалу та середньої температури визначають [2]:

насипну або об'ємну щільність матеріалу, $\text{кг}/\text{м}^3$ $\rho_n = 992$

теплоємність матеріалу C , $\text{Дж}/\text{кг} \cdot \text{К}$ $C_n = 2250$

справжню щільність матеріалу, $\text{кг}/\text{м}^3$ $\rho = 1600$

Насипна щільність матеріалу може бути розрахована за істинною щільністю:

$$\rho_n = \rho (1 - e) = 1600 (1 - 0,38) = 992 \text{ кг/м}^3$$

де: пористість $e = 0,38 \dots 0,42$

Необхідно вибрати середню швидкість агента сушіння в барабані

$$u_{cp} = 5 \text{ м/с}$$

Її вибирають виходячи з розміру частинок та насипної (об'ємної) щільності матеріалу, що висушується (табл.1) [1].

Розраховують площу поперечного перерізу сушильного барабана:

$$F_{\text{б}} = \frac{L \cdot V_o}{u_{cp} \cdot (1 - x)} = \frac{9 \cdot 0,87}{5 \cdot (1 - 0,3)} = 2,8 \text{ , м}^2$$

де: x - ступінь заповнення барабана сушарки продуктом залежить від виду матеріалу, що висушується, і виду насадки. Так для підйомно-лопатевої насадки $0,2 \dots 0,3$;

секторної насадки $0,27 \dots 0,3$;

розподільчою $0,15 \dots 0,25$

Приймаємо $x = 0,3$

V_o - питомий обсяг вологого повітря, віднесений до 1 кг сухого повітря, $\text{м}^3/\text{кг}$

$$V_o = 4,64 \cdot 10^{-6} (622 + d_{cp}) (273 + t_{cp}) = 5 \cdot 10^{-6} \cdot (622 + 12) (273 + 22,5) = 0,87 \text{ м}^3/\text{кг}$$

де d_{cp} і t_{cp} - усереднені значення вмісту води і температури повітря (агента сушіння) в сушильному барабані:

$$d_{cp} = \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{0,01 + 0,014}{2} = 12 \text{ г вл/кг с.в.};$$

$$t_{cp} = \frac{t_1 + t_2}{2} = \frac{20 + 25}{2} = 22,5 \text{ , } ^\circ\text{C}$$

Розраховують внутрішній діаметр барабана:

$$D_{\text{б}} = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{\text{б}}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,8}{\pi}} = 1,9 \text{ м}$$

З таблиці 2 за такими параметрами, як розмір частинок, вид висушувального матеріалу, початкова вологість матеріалу $w_{\text{н}}$, кінцева вологість матеріалу $w_{\text{к}}$, температура агента сушіння

визначають орієнтовне значення об'ємної напруги сушильного простору з вологи A ($\text{кг}/\text{м}^3 \cdot \text{год}$) та тип внутрішніх насадок барабана. $A = 11$ ($\text{кг}/\text{м}^3 \cdot \text{год}$)

Розраховують орієнтовний об'єм сушильного барабана:

$$V_{\text{бр}} = \frac{W \cdot 3600}{A} = \frac{0,036 \cdot 3600}{11} = 11,8 \text{ , м}$$

За розрахованим обсягом V та діаметром барабана з каталогу (Таблиця 4) [1] вибираємо барабанну сушильну установку та визначаємо її основні технічні характеристики:

довжину $L_{\text{б}} = 5 \text{ , м}$
 частоту обертання $n = 3,18 \text{ , 1 хв.}$
 $n = 0,053 \text{ , 1/с}$
 діаметр барабана $D = 1,9 \text{ , м}$

Об'єм вибраного барабана повинен бути рівним або трохи більшим (розбіжність трохи більше 10%) розрахункового.

Уточнюємо об'єм барабана для обраної установки виходячи з умов об'ємної масовіддачі. Весь об'єм барабана складається з двох частин. Передня частина барабана, куди надходить вихідний продукт призначений для нагрівання матеріалу до моменту активного випаровування вологи. Далі продукт переходить у другу частину барабана, у якій відбувається процес сушіння.

Першу частину барабана розраховують виходячи з умов об'ємного теплообміну

$$V_{\text{п}} = \frac{Q_{\text{п}}}{\alpha_{\text{в}} \cdot \Delta t_{\text{ср}}} = \frac{158683,5}{150 \cdot 15,4} = 18 \text{ м}^3$$

Середній температурний напір розраховують за рівнянням

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{(t_1 - \theta_{\text{н}}) - (t_2 - \theta_{\text{к}})}{\ln \left[\frac{(t_1 - \theta_{\text{н}})}{(t_2 - \theta_{\text{к}})} \right]} = \frac{(20 - 15) - (60 - 25)}{\ln \left(\frac{20 - 15}{60 - 25} \right)} = 15,4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

де Θ_n , Θ_k температура матеріалу, що надходить у сушарку та що виходить із неї.

Об'ємний коефіцієнт тепловіддачі:

$$\alpha_v = 16 \cdot (v_{cp} \cdot \rho_{cp})^{0,9} \cdot n^{0,7} \cdot \xi^{0,54} = 16 \cdot (5 \cdot 1,2)^{0,9} \cdot 3,18^{0,7} \cdot 0,3^{0,54} = 150 \text{ Вт/м}^2 \text{ К}$$

де n - частота обертання вибраного барабана, 1/хв;

x ступінь заповнення барабана, %

$(v_{cp} \cdot \rho_{cp})$ масова швидкість повітря, кг/с · м²

Наведене рівняння розрахунку надалі застосовно у наступних діапазонах:

$$n = 1,5 \dots 5 \text{ 1/хв}$$

$$x = 10 \dots 30\%$$

$$(v_{cp} \cdot \rho_{cp}) = 0,6 \dots 1,8 \text{ кг/м}^2$$

Тому необхідно перевірити застосовність цього рівняння для вибраного сушильного барабана.

Середня щільність агента сушіння в барабані визначається за рівнянням:

$$\rho_{cp} = 1,29 \cdot \frac{273}{273 + t_{cp}} = 1,29 \cdot \frac{273}{273 + 22,5} = 1,19 \text{ кг/м}^3$$

де t_{cp} – середня температура агента сушіння в барабані

$$t_{cp} = \frac{t_1 + t_2}{2} = \frac{20 + 25}{2} = 22,5 \text{ , } ^\circ\text{C}$$

Кількість теплоти на нагрівання продукту до активної температури випаровування:

$$Q_n = G_n \cdot C_m \cdot (\theta_k - \theta_k) + W \cdot C_v \cdot (\theta_k - \theta_k) = 0,278 \cdot 2250 \cdot (60 - 15) + 0,04 \cdot 4200 \cdot (60 - 15) = 34951,5 \text{ Вт}$$

за довідником при t_{cp} , визначають

$$C_m - \text{теплоємність матеріалу} \quad C_m = 2250 \text{ Дж/кг} \cdot \text{К};$$

$$C_v - \text{теплоємність води при } t_{cp} \quad C_v = 4200 \text{ Дж/кг} \cdot \text{К};$$

Сушильну частину барабана розраховують за рівнянням:

$$V_c = \frac{W}{\beta_v \cdot \Delta x_{cp}} = \frac{0,036}{0,081 \cdot 0,067} = 6,6 \text{ м}^3$$

де об'ємний коефіцієнт масовіддачі дорівнює:

$$\beta_v = \frac{16,2 \cdot (v_{cp} \cdot \rho_{cp})^{0,9} \cdot n^{0,7} \cdot \xi^{0,54} \cdot P_o}{C \cdot \rho_{cp} \cdot (P_o - P)} = \frac{16,2 \cdot (5 \cdot 1,2)^{0,9} \cdot 3,18^{0,7} \cdot 0,3^{0,54} \cdot 10^5}{1000 \cdot 1,19 \cdot (10^5 - 1937,15)} = 0,081 \frac{1}{\text{с}}$$

P_0 – атмосферний тиск, $P_0 = 0.10$ МПа;

C - теплоємність повітря в сушарці $C = 1000$ Дж/кг · К.

Парціальний тиск водяної пари в сушарці

$$P = \frac{P_1 + P_2}{2} = \frac{1620,4 + 2253,9}{2} = 1937,15, \text{ Па}$$

Парціальний тиск водяної пари на вході в сушилку

$$P_1 = \frac{56 \cdot 10^{-6} \cdot P_0 \cdot d_1}{0,034 + 56 \cdot 10^{-6} \cdot d_1} = \frac{56 \cdot 10^{-6} \cdot 10^5 \cdot 10}{0,034 + 56 \cdot 10^{-6} \cdot 10} = 1620,4, \text{ Па}$$

- вміст вологи вмісту сушарки на вході в сушарку, г/кг

Парціальний тиск водяної пари на виході з сушарки

$$P_2 = \frac{56 \cdot 10^{-6} \cdot P_0 \cdot d_2}{0,034 + 56 \cdot 10^{-6} \cdot d_2} = \frac{56 \cdot 10^{-6} \cdot 10^5 \cdot 14}{0,034 + 56 \cdot 10^{-6} \cdot 14} = 2253,9, \text{ Па}$$

Рушійна сила процесу масовіддачі:

$$\Delta x_{cp} = \frac{\Delta P_{cp} \cdot 18}{22,4 P_0 \cdot (1 + 3,7 \cdot 10^{-3} \cdot t_{cp})} = \frac{9059,2 \cdot 18}{22,4 \cdot 10^5 \cdot (1 + 3,7 \cdot 10^{-3} \cdot 22,5)} = 0,067 \text{ кг/кг}$$

Середня різниця парціальних тисків водяної пари

$$\Delta P_{cp} = \frac{\Delta P_6 - \Delta P_M}{\ln\left(\frac{\Delta P_6}{\Delta P_M}\right)} = \frac{9379,6 - 8746,1}{\ln\left(\frac{9379,6}{8746,1}\right)} = 9059,2 \text{ Па}$$

$$\Delta P_6 = P_1^1 - P_1 = 0,11 \cdot 10^5 - 1620,4 = 9379,6 \text{ Па}$$

$$\Delta P_M = P_2^1 - P_2 = 0,11 \cdot 10^5 - 2253,9 = 8746,1 \text{ Па}$$

$$P_1^1 = 0,1 \cdot 10^5 \text{ Па}; \quad P_2^1 = 0,11 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

$$t_{M1} = 36 \text{ }^\circ\text{C} \quad t_{M2} = 38 \text{ }^\circ\text{C}$$

$P_2^1 - P_1^1$ тиск насиченої водяної пари над вологим матеріалом на початку і в кінці процесу сушіння - визначають по температурі мокрого термометра

Об'єм сушильного барабана отриманий розрахунковим шляхом

$$V_6 = V_{II} + V_C = 18 + 6,6 = 24,6, \text{ м}^3$$

Розраховують середній час перебування матеріалу в сушарці

$$\tau = \frac{G_3}{0,5 \cdot (G_H - G_K)} = \frac{0,278}{0,5 \cdot 0,036} = 15,4 \text{ с}$$

Кількість продукту, що одночасно знаходиться в барабані сушарки

$$G_3 = V_6 \cdot \frac{\xi \cdot \rho_H}{100} = 11,8 \cdot \frac{0,3 \cdot 992}{100} = 35,1 \text{ кг}$$

Для вибраного барабана розраховують кут його нахилу:

$$\gamma = 57,2 \left[\left(\frac{L_{\text{б}}}{2 \cdot \tau \cdot D_{\text{б}} \cdot n} \right) + a \cdot v_{\text{ср}} \right] = 57,2 \left(\frac{5}{2 \cdot 15,4 \cdot 1,9 \cdot 3,18} \right) + 0,07 \cdot 5 =$$
$$= 21,6$$

Розрахунок та підбір циклону

З таблиці 5 вибираємо тип циклону ЦН-11,

діаметр вихлопної труби, площу її поперечного перерізу вибираємо за формулою:

$$d_{\text{т}} = 0,8 \text{ м}$$
$$S_{\text{т}} = \frac{\pi \cdot d_{\text{т}}^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,8^2}{4} = 0,5 \text{ м}^2$$

Загальну площу перерізу вихлопних труб циклонів визначаємо за формулою:

$$S_{\text{обш}} = \frac{L \cdot v_0}{v_{\text{ср}}} = \frac{9 \cdot 0,9}{5} = 1,57 \text{ м}^2$$

Кількість циклонів визначаємо за формулою:

$$z = \frac{S_{\text{обш}}}{S_{\text{т}}} = \frac{1,6}{0,5} = 4 \text{ шт}$$

6.3 Силовий розрахунок

Гвинтові робочі органи, також відомі як шнеки, широко застосовуються для переміщення, подачі та ущільнення різноманітних матеріалів. Стандартна конструкція шнекового пристрою включає циліндричну обичайку, всередині якої обертається один або декілька гвинтів. До складу системи входять завантажувальний бункер і вихідний елемент — наприклад, сопло, матриця або мундштук. Якщо використовується два шнеки, вони зазвичай обертаються назустріч один одному. Кожна така система має привід.

Шнеки поділяються на два основні типи: суцільні та з лопатевими елементами. Геометрія гвинтової поверхні може бути різною — прямолінійною, похилою, із постійним або змінним кроком по довжині або радіусу.

Експлуатаційні спостереження свідчать, що матеріал у шнеку рухається не строго по осі, а по спіралеподібній лінії. При цьому швидкість змінюється як по радіусу, так і по довжині вала. Така поведінка зумовлена різною відстанню частинок від осі обертання, силами тертя та гідродинамічним тиском.

Через зміну кута нахилу гвинтової лінії в напрямку до центру, швидкість осьового руху матеріалу по поперечному перерізу не є рівномірною.

6.3.1 Розрахунок шнекового робочого органу як мішалки

Щоб визначити ефективність шнека у режимі перемішування, розраховують ключові характеристики: інтенсивність обертання, об'єм робочої зони, необхідну потужність і швидкість обертання.

При повільному русі лопатей рідина здебільшого обертається навколо осі мішалки, змішуючись лише частково. Інтенсивне перемішування можливе при формуванні вихрових течій у зоні змішування.

Припускаючи, що циркуляція в апараті схожа на протікання потоку в складному трубопроводі [6], можна застосувати критеріальне рівняння, що

зв'язує споживану потужність із гідродинамічними параметрами:

$$Eu = f(Re, Fr, \Gamma_1, \Gamma_2, \dots)$$

де Eu - критерій подібності тиску (число Ейлера); Re - критерій режиму руху рідини (число Рейнольдса); Fr - критерій гідравлічної подібності (число Фруда); $\Gamma_1, \Gamma_2, \dots$ - параметричні критерії, що характеризують геометричні розміри мішалки та змішувача.

Коли сила тяжіння має незначний вплив, можна її не враховувати. У цьому випадку. Тоді $Eu = f(Re, \Gamma_1, \Gamma_2, \dots)$, де $Re = v_{cp} d \rho / \eta$, $Eu = \Delta p / (\rho v_{cp}^2)$ - v_{cp} середня лінійна швидкість суміші; d - Визначальний лінійний розмір перерізу трубопроводу; ρ - густина суміші; η - в'язкість суміші; Δp - перепад тисків.

Лінійним розміром приймається діаметр кінця лопатей, а замість швидкості рідини використовують швидкість кінчика лопаті, $v_{ок} = \pi d n$ (n - частота обертання мішалки). Різниця тиску між площинами лопаті пов'язується з енергетичними втратами на перемішування:

$$\Delta p \sim N / (nd^3)$$

Отже, модифіковане рівняння має вигляд:

$$Eu_m = f_1(Re_m, \Gamma_1, \Gamma_2, \dots)$$

де:

$$Eu_m = N / (\rho n^3 d^5)$$

$$Re_m = nd^2 \rho / \eta$$

Після перетворення отримаємо спрощене критеріальне рівняння:

$$Eu_m = A Re_m^m \Gamma_1^a \Gamma_2^b$$

Для спрощення інженерних розрахунків часто використовують узагальнені залежності, в яких коефіцієнти та показники ступеня залежать від геометрії мішалки, гідродинамічного режиму, форми апарата та наявності

перешкод у змішувачі.

Споживання потужності зростає зі збільшенням частоти обертання, діаметра змішувача, а також з підвищенням густини та в'язкості продукту. Тип обертання (ламінарне чи турбулентне) суттєво впливає на ефективність процесу. У ламінарному режимі ($Re < 10^3$) переміщуються лише тонкі шари рідини біля лопатей. У турбулентному ж ($Re > 10^4$) відбувається повне змішування завдяки інтенсивній циркуляції.

У діапазоні повної турбулентності число Ейлера стабілізується, і подальше підвищення частоти обертання лише збільшує споживання енергії без суттєвого покращення результату.

Процес розрахунку передбачає:

1. Вибір типу мішалки та її геометричних характеристик;
2. Обчислення числа Рейнольдса (Re);
3. Визначення числа Ейлера (Eu) з графіка або формули;
4. Розрахунок потужності, необхідної для перемішування;
5. Перевірка відповідності фактичної та розрахованої потужностей;
6. Внесення коригувань при розбіжності результатів.

Остаточну потужність приводу визначають із врахуванням коефіцієнта корисної дії. Також беруть до уваги стартові перевантаження: у момент запуску зусилля на лопатях може збільшуватись у 2–4,5 рази. Це впливає на вибір приводу з відповідним пусковим моментом.

Потужність двигуна визначають за рівнянням:

$$N_d = N / \mu,$$

де μ - ККД приводу.

У пусковий період сила, що діє на лопаті пристрою, що перемішує з боку рідини, збільшується в 2-4,5 рази. Це необхідно враховувати під час вибору пускового моменту двигуна.

Для розрахунку потужності шнекових мішалок використовується рівняння:

$$Eu_m = 71/Re_m$$

Коефіцієнт визначається як функція типу геометричних співвідношень пристрою, що перемішує.

Отримуємо число Рейнольдса:

$$Re_m = n \cdot d^2 \cdot \frac{\rho}{\mu} = 0.3 \cdot 0.225^2 \cdot \frac{1080}{10} = 0.911$$

отримуємо число Ейлера:

$$Eu = \frac{71}{Re_m} = \frac{71}{0.911} = 77.9$$

отримуємо потужність двигуна:

$$N_p = 77.9 \cdot 1080 \cdot 0.3^3 \cdot 0.225^5 = 0.225$$

З урахуванням пускового току:

$$N_{\text{пуск}} = 3 \cdot 0.225 = 0.674 \text{ Вт}$$

Потужність електродвигуна приймаємо рівною 0,8 кВт згідно каталогу.

Марка електродвигуна перемішуючого механізму обраного апарату 4А 80Б6 ДСТУ 19323-74.

6.3.2 Розрахунок шнекового робочого органу як транспортера

Основною метою силового розрахунку шнекового транспортера є визначення потужності електродвигуна, необхідної для обертання валу пристрою. У даному випадку переміщується концентрований сік.

Принцип функціонування такого транспортера полягає у створенні осьової сили, яка виникає під час обертання спіралеподібної поверхні з певним кутом підйому [1]. Зазвичай шнеки використовують для пересування сипких матеріалів. Водночас вони є неефективними для великогабаритних, клейких або надмірно вологих вантажів.

Серед переваг подібних систем — висока герметичність, компактність,

простота в експлуатації, а також можливість переміщення гарячих або токсичних матеріалів. До недоліків належать значні енергетичні витрати, а також можливе стирання або подрібнення вантажу в процесі транспортування.

Щоб здійснити розрахунок, необхідно знати: частоту обертання вала, ступінь заповнення каналу, властивості матеріалу (насіпну густину), його геометричні параметри, довжину траси, висоту підйому та, за наявності, бажану продуктивність системи.

Першим кроком у розрахунку є визначення продуктивності, яка обчислюється за формулою:

$$Q = 3,6 \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot v \cdot \psi \cdot \rho \cdot c_{\beta}, \text{ т/год}$$

де: D – діаметр шнека, м; v – швидкість переміщення вантажу по жолобу, м/с; ψ – коефіцієнт заповнення жолоба; ρ – щільність транспортованого вантажу, т/м³; c_{β} – коефіцієнт зниження продуктивності похилого конвеєра.

Швидкість руху матеріалу визначають через крок шнека та частоту його обертання:

$$v = \frac{t \cdot n}{60}, \text{ м/с}$$

Після підстановки отримаємо остаточне рівняння для розрахунку продуктивності:

$$Q = 47 \cdot D^3 \cdot k \cdot n \cdot \psi \cdot \rho \cdot c_{\beta}, \text{ т/год}$$

де: $k = D/t = 0,5 \dots 1,0$ – відношення кроку до діаметра шнека.

Отримуємо:

$$Q = 47 \cdot D^3 \cdot k \cdot n \cdot \psi \cdot \rho \cdot c_{\beta} = 47 \cdot 0,225^3 \cdot 1,286 \cdot 0,167 \cdot 0,8 \cdot 1080 \cdot 0,08 = 7,9$$

У наступному етапі приблизно оцінюють необхідну потужність за формулою:

$$N = \frac{K_3 \cdot Q}{367 \cdot \eta} \cdot (L \cdot \omega_0 \pm H), \text{ кВт}$$

де: L – горизонтальна проекція шляху транспортування, м; H – висота

підйому вантажу, м; K_3 – коефіцієнт запасу потужності, $K_3 = 1,1 \dots 1,2$; ω_0 – коефіцієнт опору руху: $\omega_0 = 4$ – для важких абразивних вантажів (цемент, пісок, вапно тощо); $\omega_0 = 2,5$ – для вугілля, глини сухої, солі; $\omega_0 = 1,2 \dots 1,6$ – для легких насипних вантажів.

Отримуємо:

$$N = K_3 \cdot Q \cdot \frac{(L \cdot \omega_0 - H)}{367 \cdot \eta} = 1,2 \cdot 7,9 \cdot \frac{(5 \cdot 1,3 + 0,5)}{367 \cdot 0,8} = 0,227$$

Ураховуючи, що на етапі запуску навантаження збільшується у 2–3 рази, розрахункова потужність під час пуску:

$$N_{\text{пуск}} = 3 \cdot N_p$$

Потужність електродвигуна знаходиться з рівняння:

$$N_{\text{пуск}} = 3 \cdot 0,227 = 0,681$$

Як бачимо розрахована потужність добре корелюється з попередньо розрахованою.

6.4 Кінематичний розрахунок приводу шнекового термосифону

У цьому розділі виконується кінематичне моделювання роботи механічного приводу. Вихідною умовою є заданий діаметр шнека, який дорівнює $D_n=1,57$ м. На основі цього розраховується частота його обертання в обертах за секунду.

Формули для визначення лінійних швидкостей на різних ділянках шнека мають вигляд:

$$n = \frac{Q}{(S_n - S_v) \cdot t \cdot \psi \cdot \rho} = \frac{7.9}{(0.04 - 7.854 \times 10^{-3}) \cdot 0.175 \cdot 0.8 \cdot 1080} = 2,1 \text{ об/хв}$$

Приводна система шнекового термосифону включає в себе електродвигун, редуктор і ланцюгову передачу.

У розрахунках приймається передатне число редуктора $U=50U$. Також враховується, що електродвигун типу 4А 80А6 згідно з ДСТУ 19523-74 має номінальну частоту обертання вала 920 об/хв.

Загальне передатне відношення системи визначається як:

$$U = \frac{n_1}{n_3}$$

де $n_1 = 920$ об/хв – частота обертання електродвигуна;

$n_3 = 2$ об/хв – частота обертання шнекового термосифону.

$$U = \frac{920}{2} = 460.$$

Отримане загальне передатне число:

$$U_2 = \frac{U}{U_1} = \frac{460}{50} = 9,2.$$

Для реалізації цього співвідношення обирається редуктор РЧУ-100-50-3-2-1 відповідно до стандарту ДСТУ 13563-68. Залишок відношення компен-

сується за допомогою ланцюгової передачі. Далі проводиться розрахунок кутових швидкостей на кожному з валів приводу:

$$\omega_1 = \frac{\pi \cdot n_1}{30} = \frac{3,14 \cdot 920}{30} = 96,29 \text{ c}^{-1};$$

$$\omega_2 = \frac{\omega_1}{U_1} = \frac{96,29}{50} = 19,26 \text{ c}^{-1};$$

$$\omega_3 = \frac{\omega_2}{U_2} = \frac{19,26}{3,68} = 5,23 \text{ c}^{-1};$$

$$n_1 = 920 \text{ об/хв};$$

$$n_2 = \frac{n_1}{U_1} = \frac{920}{50} = 18,4 \text{ об/хв};$$

Потужності на валах:

$$P_1 = 0,75 \text{ кВт};$$

$$P_2 = P_1 \cdot \eta_1 = 0,75 \cdot 0,7 = 0,525 \text{ кВт};$$

$$P_3 = P_2 \cdot \eta_2 = 0,525 \cdot 0,9 = 0,473 \text{ кВт}.$$

Круті моменти на валах:

$$T_1 = \frac{P_1}{\omega_1} = \frac{750}{96,29} = 7,5 \text{ Н/м};$$

$$T_2 = \frac{P_2}{\omega_2} = \frac{525}{19,26} = 26,8 \text{ Н/м};$$

$$T_3 = \frac{P_3}{\omega_3} = \frac{473}{5,23} = 90 \text{ Н/м}.$$

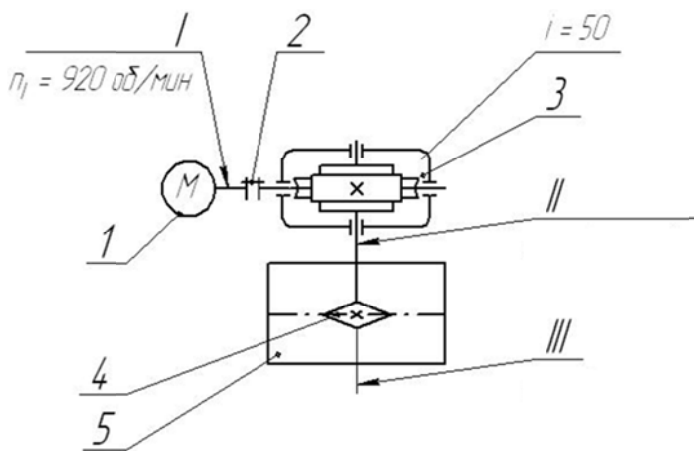


Рис. 11. Кінематична схема приводу шнекового термосифону

6.5 Розрахунок площі поверхні шнеку

Вихідні дані

- Продуктивність апарату за початковим продуктом: $G_{\text{п}}=1500 \text{ кг/год}=0,4 \text{ кг/с}$
- початкова і кінцева вологість : $\omega_{\text{п}}=25 \%$, $\omega_{\text{к}}=14 \%$;
- Тиск гріючої пари: $P_{\text{гр}}=0,2 \text{ МПа}$
- Початкова температура продукту: $t_{\text{п}}=70 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- Теплопровідність матеріалу стінки: $\lambda=46,5 \text{ Вт/(м К)}$
- Теплофізичні характеристики продукту:

Згідно з джерелом [8] за таблицею:

- Теплоємність на вході: $C_{\text{р}}=3852 \text{ Дж/(кг К)}$

Параметри теплоносія:

- Ентальпія пари: $i_{\text{п}}=2706,9 \times 103 \text{ Дж/кг}$
- Ентальпія конденсату: $i_{\text{к}}=504,7 \times 103 \text{ Дж/кг}$
- Температура пари: $t_{\text{п}}=120,23 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- Прихована теплота пароутворення: $r=2202,2 \times 103 \text{ Дж/кг}$

Параметри вторинної пари:

- Температура: $t_{\text{вт}}=54 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- Прихована теплота пароутворення: $r_{\text{вт}}=2372,9 \times 103 \text{ Дж/кг}$
- Ентальпія: $i_{\text{вт}}=2598,9 \times 103 \text{ Дж/кг}$

1. Кількість видаленої вологи W , кг/с :

$$W = G_{\text{п}} * \left(\frac{\omega_{\text{п}} - \omega_{\text{к}}}{100 - \omega_{\text{к}}} \right) = 0,4 * \left(\frac{25 - 14}{100 - 14} \right) = 0,053 \text{ кг / с}$$

2. Кількість тепла на процес $Q_{\text{заг}}$ Вт розраховуємо за формулою:

$$Q_{\text{заг}} = Q_1 + Q_2 + Q_{\text{втр}} \quad (1)$$

де кількість тепла на підігрів продукту Q_1 Вт :

$$Q_1 = G_{\text{н}} * G_{\text{п}} * (t_{\text{суш}} - t_{\text{н}}) \quad (2)$$

$$Q_1 = G_{\text{н}} * G_{\text{п}} * (t_{\text{суш}} - t_{\text{н}}) = 0,4 * 3852 * (60 - 15) = 69336 \text{ Вт}$$

3. Кількість тепла на видалення з продукту вологи Q_2 Вт :

$$Q_2 = W \cdot r_{\text{BT}} = 0,053 \cdot 2372,9 \cdot 10^3 = 125763 \text{ Вт}$$

4. Кількість тепла втрат $Q_{\text{втр}}$, Вт:

$$Q_{\text{втр}} = 0,05(Q_1 + Q_2) = 0,05 \cdot (69336 + 125763) = 9754 \text{ Вт}$$

Загальна кількість тепла:

$$Q_{\text{заг}} = Q_1 + Q_2 + Q_{\text{втр}} = 69336 + 125763 + 9754 = 204854 \text{ Вт}$$

5. Визначення поверхні теплообміну:

$$F = \frac{Q_1 + Q_2}{K \cdot \Delta t_{\text{пол}}}$$

де корисна різниця температур :

$$\Delta t_{\text{пол}} = t_{\text{гр}} - t_{\text{суш}} = 120,23 - 60 = 60 \text{ С}$$

Коефіцієнт теплопередачі $K = 1000 \text{ Вт/м}^2$

Отримуємо:

$$F = \frac{Q_1 + Q_2}{K \cdot \Delta t_{\text{пол}}} = \frac{69336 + 125763}{1000 \cdot 60} = 3,2 \text{ м}^2$$

6.5 Вибір електродвигуна приводу барабана

Орієнтовно необхідна для обертання барабана потужність може бути визначена за формулою:

$$N = 0.078 D^3 \cdot L \cdot \rho \cdot \sigma \cdot n$$

Де D – діаметр барабана, м; L – довжина барабана, м; ρ – насипна маса матеріалу, кг/м^3 ; n – число обертів барабана $1/\text{с}$; σ – коефіцієнт залежить від типу насадки та ступеня заповнення барабана.

Отримуємо:

$$N = 0.078 \cdot 1,9^3 \cdot 5 \cdot 992 \cdot 0,0146 \cdot 0,053 = 2,1 \text{ кВт}$$

Обираємо двигун 4А112МА8 380 В, 50 Гц, ДСТУ 19523-81 750 об/хв.

6.6 Кінематичний розрахунок приводу барабана

Розробляємо кінематичну схему.

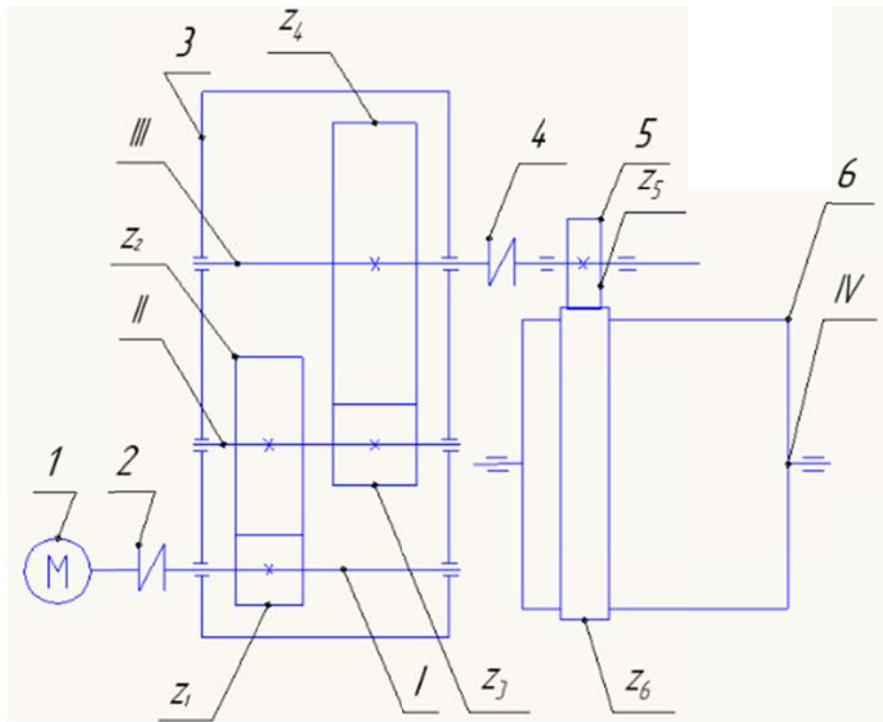


Рис. 11. Кінематична схема приводу барабану: 1 – електродвигун; 2,4 – муфта; 3 – циліндричний двоступінчастий редуктор: I – швидкохідний вал редуктора, II – середній вал редуктора, III – тихохідний вал редуктора; 5 – відкрита циліндрична передача; 6 – барабан: IV – робочий вал барабанної сушарки

Загальне передаточне відношення:

$$u = \frac{n_{\text{ДВ}}}{n_6} = \frac{750}{0.053 \cdot 60} = 236$$

Обираємо двоступінчастий редуктор Ц2У-315НМ-50-11У1.

Тоді передатне відношення відкритої зубчатої передачі:

$$u_5 = \frac{u}{u_p} = \frac{236}{50} = 4.7$$

6.7 Розрахунки на міцність

Розрахунок барабану сушарки на міцність

Вихідні дані для камери зі сталі 12Х18Н10Т

Допустиме напруження при експлуатації - $[\sigma] = 184 \text{ МПа}$;

Допустиме напруження при випробуваннях - $[\sigma]_{\text{в}} = 250 \text{ МПа}$;

Коефіцієнт міцності зварних швів приймаємо - $\phi = 0,9$;

Надбавку до розрахункової товщини металу розраховуємо -

$$c = 1,0 + 0 + 0,2 = 1,2 \text{ мм.}$$

Тут приймаємо: $0,1 \cdot 10 = 1,0 \text{ мм}$ - добавка на корозію,

0 - добавка на ерозію,

0,2 мм - добавка на мінусовий допуск сортаменту. Робочий тиск пари в барабані - $p_p = 1,0 \text{ МПа}$.

Розраховуємо товщину корпусу по теорії тонкостінних оболонок Внутрішній діаметр корпусу $D = 1900 \text{ мм}$

$$s_p = \frac{p_p \cdot D}{2 \cdot \sigma \cdot \phi - p_p} = \frac{1 \cdot 1.9}{2 \cdot 184 \cdot 0.9 - 1} = 5.754 \times 10^{-3}$$

$$s_{pi} = \frac{p_i \cdot D}{2 \cdot \sigma_i \cdot \phi - p_p} = \frac{1.3 \cdot 0.6}{2 \cdot 250 \cdot 0.9 - 1.3} = 5.501 \times 10^{-3}$$

Мінімальна допустима конструктивна товщина з урахуванням добавки на корозію становить

$$S = S_p + c = 5,5 + 1,2 = 6,7 \text{ мм.}$$

З конструктивних міркувань вибираємо для сорочки конструктивну товщину обичайки $S = 7 \text{ мм}$.

Аналіз конструкції на виникнення вакууму.

Вакуум в камері може виникнути в разі конденсації пари. Найбільша величина зовнішнього тиску може скласти $P_{\text{зовн}} = 0,1 \text{ МПа}$.

Коефіцієнт запасу стійкості приймаємо рівним $n_y = 1,8$.

Перевіряємо корпус без ребер жорсткості на стійкість при роботі під зовнішнім тиском.

Розрахункова довжина циліндричної обичайки становить:

$$L=5 \text{ м}$$

Модуль пружності - $E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ МПа}$.

Зовнішній тиск, що допускаються, розрахований виходячи з умов міцності, МПа:

$$p_n = \frac{2 \cdot \sigma \cdot (s - c)}{D + (s - c)} = \frac{2 \cdot 184 \cdot (7 - 1.2)}{250 + (7 - 1.2)} = 1.062$$

де B_l – безрозмірний коефіцієнт, що враховує схему втрати стійкості обічайки:

$$B_l = 9.45 \cdot \frac{D}{L} \cdot \sqrt{\frac{D \cdot 1000}{100 \cdot (s - c)}} = 9.45 \cdot \frac{1900}{5000} \cdot \sqrt{\frac{1900}{100 \cdot (7 - 1.2)}} = 6.7$$

Зовнішній тиск, що допускаються, розрахований виходячи з умов стійкості в межах пружності, МПа

$$p_e = \frac{20.8 \cdot 10^{-6} \cdot E \cdot D}{n_y \cdot B_l \cdot L} \cdot \left[\frac{100 \cdot (s - c)}{D \cdot 1000} \right]^{2.5} = \frac{20.8 \cdot 10^{-6} \cdot (2.1 \cdot 10^5) \cdot 1900}{1.8 \cdot 2.87 \cdot 5000} \cdot \left[\frac{100 \cdot (7 - 1.2)}{1900} \right]^{2.5} = 6.233 \times 10^{-3}$$

Допустимий зовнішній тиск становить, МПа:

$$p = \frac{p_n}{\sqrt{1 + \left(\frac{p_n}{p_e} \right)^2}} = \frac{1.062}{\sqrt{1 + \left[\frac{1.062}{(0.006)} \right]^2}} = 6.23$$

Так як $p_e = 0,1 \text{ МПа} < [p]$, обічайка стійка.

Розраховуємо корпус на стійкість під дією осевого стискаючого зусилля.

Допустиме стискаюче зусилля, МН	/ F /	6,09
Фактичне стискаюче зусилля, МН	F	0,06
Висновок про стійкість	оболонка стійка	

Перевіряємо стійкість корпусу під спільною дією зовнішнього тиску і

осьового стискаючого зусилля.

Найбільший допустимий діаметр неукріплених одиночних отворів в корпусі, мм:

$$d_0 = 2 \cdot \left[\left(\frac{s-c}{s_p} \right) - 0.8 \right] \cdot \sqrt{D \cdot (s-c)} = 2 \cdot \left[\left(\frac{7-1.2}{5.754 \times 10^{-3}} \right) - 0.8 \right] \cdot \sqrt{1.9 \cdot [(1.9-1.2)1.2]} = 6.177 \times 10^2$$

Отвори для люків завантаження та розвантаження посиленню не підлягають.

7 Енергетичний аналіз лінії сушіння зерна

Було виконано аналітичне оцінювання енергетичної ефективності зерносушильного комплексу. Проведення енергетичного аудиту — це процедура комплексної перевірки підприємства або окремих його ланок, що має на меті виявлення резервів підвищення ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів. Основне завдання такої перевірки полягає в діагностиці втрат енергії, які є необґрунтованими, та у проведенні розрахунків, що дозволяють визначити рівень енергетичної ефективності об'єкта.

Енергоаудит також спрямований на розробку рекомендацій щодо модернізації або удосконалення енергосистем підприємства. Згідно з даними практики, проведення енергетичних обстежень може забезпечити скорочення споживання енергії приблизно на 15%.

Такий аудит може бути ініційований підприємством добровільно — наприклад, у разі подачі заявки на державне фінансування або участі у програмі енергозбереження. Проте, для великих виробничих об'єктів, що споживають понад 6000 тонн умовного палива на рік, проведення енергоаудиту є обов'язковим. До цієї категорії нині належать переважна більшість середніх і великих підприємств.

Аналіз питомих енерговитрат

Зведені дані щодо витрат енергії на одиницю готової продукції наведені в таблиці 4. Оцінка ефективності кожного апарата базується на кількості енергії, яка витрачається для досягнення необхідного технологічного результату.

У таблиці використовуються наступні позначення:

- **Е, кВт** — споживання електроенергії обладнанням;
- **Q, кВт** — споживання теплової енергії;
- **Е, кДж/кг** — питомі енерговитрати, розраховані на одиницю ма-

си продукції.

Розрахунок питомих витрат здійснювався за формулою:

$$\mathcal{E}_{\text{уд}} = \frac{\mathcal{E} + Q}{G} \quad (4)$$

де G – продуктивність лінії, кг/с

Процес сушіння зернових культур охоплює низку послідовних операцій, які реалізуються в рамках єдиного технологічного ланцюга. Зокрема, до основних етапів належать:

1. Надходження вологого зерна до приймального бункера;
2. Транспортування зерна за допомогою норії;
3. Подача зерна до буферного (надсушильного) бункера;
4. Подача палива до теплоутворювальної системи;
5. Формування та подача сушильного агента;
6. Основний процес сушіння зерна у сушильній камері;
7. Стадія охолодження обробленого зерна;
8. Вивантаження зерна норією після сушіння;
9. Завантаження зерна в бункер готової продукції.

У межах цього процесу для впровадження інженерного вдосконалення було обрано саме ділянку сушіння. Такий вибір обумовлений тим, що на основі проведеного аналізу виробничих показників і діючої технологічної схеми було встановлено: етап сушіння має найбільший потенціал для зниження витрат та підвищення енергоефективності. Тому модернізація саме цієї ланки здатна дати суттєве покращення техніко-економічних параметрів функціонування всього підприємства.

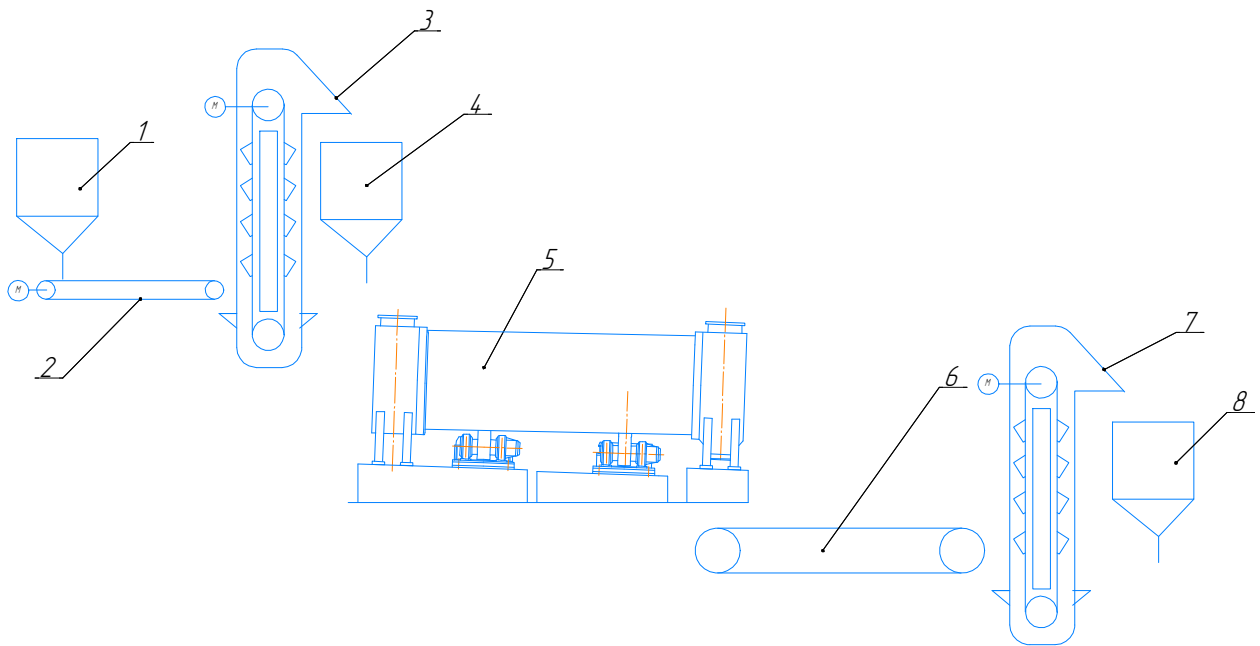


Рис. 12 Технологічна схема процесу сушіння зерна

З бункера вологого зерна (1) сировина через конвеєр (2) йде на норію (3), а з норії - безпосередньо на сушіння. Ємність (4) забезпечує безперервну подачу зерна в сушарку (5). Після сушіння зерно конвеєром (6) надходить норію (7) в бункер сухого зерна (8).

Проведено енергетичний аналіз лінії сушіння. Питомі енерговитрати (на кілограм продукції) лінії представлені в таблиці 4.

Таблиця 4

Питомі енерговитрати лінії по переробці зерна

Обладнання	Э, кВт	Q, кВт	Эуд, кДж/кг
Стрічковий конвейер КЛС-1	3,50		12,59
Норія ковшова Н-10	1,10		3,96
Сушарка барабанна СБУ-2,0-7	3,00	250	910,07
Стрічковий конвейер КЛС-1	3,50		12,59
Норія ковшова Н-10	0,75		2,70
Сумарні енерговитрати лінії			941,91

Найбільший сегмент - сушіння.

Значного скорочення енерговитрат можливо досягти застосовуючи барабанну сушарку на ТС в лінії.

Таблиця 5

Питомі енерговитрати лінії по переробці зерна з застосуванням розробленої сушарки

Обладнання	Э, кВт	Q, кВт	Эуд, кДж/кг
Стрічковий конвейер КЛС-1	3,50		12,59
Норія ковшова Н-10	1,10		3,96
Сушарка на базі ТС	3,00	155	568,35
Стрічковий конвейер КЛС-1	3,50		12,59
Норія ковшова Н-10	0,75		2,70
Сумарні енерговитрати лінії			600,18

Питомі енерговитрати зменшаться на 341 кДж/(кг продукції)

8. Техніка безпеки і правила експлуатації машини

Під час проектування сушильного обладнання особлива увага приділяється дотриманню норм безпеки для обслуговуючого персоналу відповідно до діючих стандартів і нормативних документів. Зокрема, машина має відповідати вимогам:

- ДСТУ 27-00-216-75, що встановлює загальні положення безпеки щодо продовольчих машин і механізмів;
- інструкцій з охорони праці та виробничої санітарії, затверджених для консервної, овочесушильної та харчоконцентратної промисловості.

Обмеження рівня шуму

Працююче обладнання в умовах виробничого середовища не повинно створювати надмірного шуму. Рівні звукового тиску, виміряні у відповідних октавних смугах частот, не мають перевищувати допустимих значень, визначених у Гігієнічних нормативах звукового тиску та рівня шуму №1004-73. Контроль здійснюється під час приймальних випробувань згідно з ДСТУ 8.055-73.

Вимоги до вібраційної безпеки

Допустимі значення віброшвидкості для стаціонарного обладнання у робочому режимі встановлюються на основі положень Санітарних норм СН-245-71. Вимірювання проводяться під час приймальних випробувань відповідно до вимог ДСТУ 13731-68.

Умови безпечного монтажу та введення в експлуатацію

Щоб забезпечити безпечну роботу сушарки, слід дотримуватися таких технічних умов:

- обладнання має бути виготовлене та змонтоване згідно з технічною та проектною документацією;
- усі трубопроводи повинні бути під'єднані відповідно до передбаченої

технологічної схеми; фланцеві з'єднання — ущільнені та надійно затягнуті;

- арматура, допоміжні механізми та контрольно-вимірювальні прилади повинні бути змонтовані відповідно до проєкту;
- після монтажу обладнання проходить обов'язкове випробування на герметичність і механічну міцність перед здачею в експлуатацію.

Правила безпечної експлуатації сушильного обладнання

Надійна та безпечна робота сушарки можлива лише за умови дотримання рекомендованих теплотехнічних параметрів, що відповідають заданому режиму обробки продукту. Для цього обладнання повинне працювати в оптимальному температурному та тисковому режимі, контроль за яким здійснюється за допомогою автоматичних систем регулювання.

Сушарка має бути оснащена пристроями для постійного моніторингу температури теплоносія на вході та температури продукту на виході, а також тиску в системі. З метою візуального спостереження використовуються такі прилади:

- ртутний термометр класу точності 0,5 за ДСТУ 28679-80, діапазон 0–150 °С — для контролю температури водяного теплоносія;
- ртутний термометр того ж класу, діапазон 0–100 °С — для моніторингу температури готового продукту;
- манометр класу 0,2, діапазон 0–1,5 атм — для вимірювання тиску в апараті.

Регламент перевірок та інспектування

Оскільки сушарка відноситься до категорії тискових апаратів, вона підлягає регулярному технічному огляду відповідно до встановлених норм:

1. Зовнішній технічний огляд проводиться без попереднього повідомлення щонайменше один раз на рік. Під час нього перевіряють дотримання правил експлуатації та кваліфікацію обслуговуючого персоналу.
2. Внутрішній огляд виконується раз на три роки. При цьому оці-

нюється стан внутрішніх поверхонь, швів та з'єднань обладнання.

3. Гідравлічне випробування проводиться кожні шість років після попереднього внутрішнього огляду. Метою є перевірка герметичності та міцності конструкції. Якщо сушарка перебувала без експлуатації понад рік, або виконувалися ремонтні роботи з відновлення корпусу, то перед повторним запуском необхідне обов'язкове випробування під тиском. У разі аварійної ситуації слід обов'язково:

- з'ясувати причини інциденту,
- виявити відповідальних осіб,
- розробити заходи запобігання аналогічним ситуаціям у майбутньому.

Очищення теплообмінних поверхонь

Регулярне видалення відкладень і забруднень з теплообмінних поверхонь є невід'ємною частиною технічного обслуговування. Вибір способу очищення залежить від характеру та інтенсивності забруднення:

- механічна очистка — для щільних налипань;
- гідравлічна або термічна — для відкладень, що легко руйнуються;
- хімічна очистка — при наявності складних або вапнякових утворень.

Вимоги техніки безпеки при експлуатації сушильних апаратів

З метою забезпечення безпечних умов праці та зниження ризику виникнення аварійних ситуацій, підприємство зобов'язане впроваджувати організаційно-технічні заходи, що відповідають діючим нормам охорони праці. До обов'язкових дій належать:

1. Офіційна реєстрація сушильного обладнання в територіальному органі технічної інспекції.
2. Ведення журналу експлуатації, в якому фіксуються результати всіх випробувань, перевірок, технічного обслуговування та дозволів на вве-

дення апарата в експлуатацію.

3. Здійснення комплексу організаційно-технічних заходів з охорони праці, що включають:

- розробку та затвердження інструкцій з безпечної експлуатації для кожного робочого місця;
- регулярне проведення інструктажів персоналу із фіксацією у відповідному журналі;
- аналіз нещасних випадків (за наявності) з подальшою розробкою профілактичних дій для уникнення подібних ситуацій у майбутньому.

4. Обов'язкове навчання та перевірка знань з експлуатації сушарки у формі технічного мінімуму для обслуговуючого персоналу.

5. Заборона перевищення встановлених меж тиску та температури як в сушильному апараті, так і у системі трубопроводів — відповідно до технічної документації виробника.

6. Виконання внутрішнього огляду тільки за умови охолодження апарата до температури не вище 30 °С, при цьому:

- допустима напруга для живлення освітлювальних приладів та електроінструментів — не більше 12 В.

7. Обов'язкове маркування небезпечних зон — у місцях можливого подавання пари, сировини чи інших технологічних середовищ повинні бути встановлені попереджувальні таблички.

8. Використання лише справного та сертифікованого інструменту, що відповідає технічним нормам безпеки.

Використані літературні джерела

1. New constructions of dryers for production of environmentally safe cereal products at reduced specific energy consumption / Nowe konstrukcje suszarni do produkcji bezpiecznych dla środowiska produktów zbożowych przy obniżonej jednostkowej energochłonności Bezbah, I. Zykov, A. , Bandura, V. , ...Paladiichuk, Y. , Mazurenko, I. *Przegląd Elektrotechniczny*, 2023, 2023(10)
2. Innovative methods of drying rapeseeds using microwave energy / Innowacyjne metody suszenia nasion rzepaku energia mikrofalowa Bandura, V. Bezbah, I. Kupchuk, I. Fialkovska, L. *Polityka Energetyczna*, 2023, 26(2)
3. Burdo O., Bezbah I. , Kepin N., Zykov A. , Yarovy I., Gavrilov A., Bandura V. , Mazurenko I. Studying the operation of innovative equipment for thermomechanical treatment and dehydration of food raw materials // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies - Vol 5, No 11(101)* (2019)
4. A systematic review on the recent advances of the energy efficiency improvements in non-conventional food drying technologies // <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924224419304558>
5. O. Burdo, I. Bezbah, A. Zykov, S. Terziev, A. Gavrilov, I. Sirotyuk, I. Mazurenko, Yunbo Li Development of power-efficient and environmentally safe coffee product technologies// *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies - Vol 1, No 11 (103)* (2020)
6. C. Ononogbo, O.C. Nwifo, C.A. Okoronkwo, N.V. Ogueke, J.O. Igbokwe, E.E. Anyanwu, Equipment sizing and method for the application of exhaust gas waste heat to food crops drying using a hot air tray diyer, *Ind. J. Sci. Technol.* 13 (5) (2020) 502-518, doi:10.17485/ijst/2020/v013i05/145593.
7. Thermal characteritics of the dryer with rice husk double furnace - heat exchanger for smallholder scale drying // *Case Studies in Thermal Engineering* 28 (2021) 101565
8. Hybrid heat pipe screw dryer: A novel, continuous and highly energy-efficient drying technology // *Chemical Engineering & Processing: Process Intensification* 128 (2018) 199-215
9. Bezbah, I., Zykov, A., Mordynskyi, V., Osadchuk, P., Phylipova, L., Bandura, V., Yarovy, I., & Marenchenko, E. (2022). Designing the structure and determining the mode characteristics of the grain dryer based on thermosiphons . *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2(8 (116), 54–61. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.253977>