

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Кафедра процесів, обладнання та енергетичного менеджменту



**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ МАГІСТРА**

**на тему: Розробка конструкції мікрохвильової стрічкової сушильної
установки з комбінованим способом вологовидалення**

Здобувача(ки) Петрова В.В.
(прізвище, ініціали)

_____ курсу СІ-20МН групи

Керівник доц. Яровий І.І.
(посада, прізвище та ініціали)

Консультанти: _____
(посада, прізвище та ініціали)

(посада, прізвище та ініціали)

Кваліфікаційна робота допускається до захисту

Рішення кафедри від _____ 2024 р., протокол № _____.

Завідувач(ка) кафедри ПОтаЕМ _____ Олег БУРДО
(назва кафедри) (підпис) (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Одеса - 2024 рік

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет: «Низькотемпературної техніки та інженерної механіки»

Кафедра: «Процесів, обладнання та енергетичного менеджменту»

Ступінь вищої освіти: «магістр»

Спеціальність 133 «Галузеве машинобудування»

Освітньо-професійна програма «Системний інжиніринг харчових, мікробіологічних та фармацевтичних виробництв»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ПОтаЕМ

О.Г. БУРДО

«__» _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Петрова Владислава Віталійовича

1. Тема роботи: «Розробка конструкції мікрохвильової стрічкової сушильної установки з комбінованим способом вологовидалення».

Затверджена наказом ОНТУ від «05» лютого 2024 р. №78-03.

2. Термін здачі здобувачем завершеної роботи: 10 червня 2024 р.

3. Вихідні дані роботи: дослідна лабораторна установка «Мікрохвильова стрічкова сушарка», матеріали досліджень комбінованих способів сушіння.

4. Перелік питань, які потрібно розробити: Анотація. Список скорочень. Вступ. I. Актуальність проблем сушильних технологій. 1.1. Типові способи сушіння. 1.2. Класифікація способів сушіння. 1.3. Аналіз технологічних та енергетичних проблем в процесах сушіння. 1.4. Огляд сучасних технічних рішень для вирішення проблем в процесах сушіння. 1.5. Комбіновані способи сушіння, переваги та недоліки. 1.6. Аналітичні та експериментальні дослідження процесу комбінованого сушіння. 1.7. Аналіз результатів досліджень, щодо технічно досяжних параметрів комбінованих способів сушіння. 1.8. Енергетика процесу вологовидалення при комбінованому способі сушіння. 1.9. Висновки щодо реалізації процесу сушіння комбінованим способом.

II. Технічний проект мікрохвильової стрічкової сушильної установки з комбінованим способом вологовидалення. 2.1. Розробка основних конструктивних вузлів мікрохвильової сушильної установки. 2.2. Розрахунок стрічкового конвеєра сушильної установки. 2.3. Дослідження типових режимів енергоспоживання для комбінованого способу сушіння. 2.4. Розробка конструкції сушильної камери установки.

III. Заключна частина. 3. Охорона праці та техніка безпеки при використанні мікрохвильових технологій. 4. Аналіз небезпечних для навколишнього середовища факторів, що можуть виникати при експлуатації установки. Заключення. Інформаційні джерела.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): 5.1. Загальний вид мікрохвильової стрічкової сушильної установки з комбінованим способом вологовидалення (аркуш А1); 5.2. Сушильна камера установки. (А1) 5.3. Схема кінематична привідного модуля конвеєра сушильної установки. (А1) 5.4. Деталювання привідного модуля установки. (2-3 арк. А1) 5.5. Графічний матеріал, що відображає результати дослідної частини роботи. (А1); 5.6. Слайди демонстраційної частини роботи, що відображають основні етапи і результати роботи та її результати (від 20 до 30 слайдів.)

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

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці та техніка безпеки	Доцент каф. к.т.н. Всеволодов О.М.		

7. Дата видачі завдання: «__»_____ 2024 р.

Керівник _____ Яровий І.І _____

Завдання прийняв до виконання _____ Петров В.В. _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ		
2	Технологічна частина		
3	Технічний проект установки		
4	Результати дослідження		
5	Заклучна частина		
6	Графічна та презентаційна частина		
7	Перевірка та рецензування роботи		

Здобувач-дипломник _____ Петров В.В. _____

Керівник проекту (роботи) _____ Яровий І.І _____

Несу відповідальність за ідентичність електронного та друкованого варіантів кваліфікаційної роботи, даю згоду на обробку персональних даних та не заперечую проти розміщення кваліфікаційної роботи на офіційних web-ресурсах ОНТУ.

Підтверджую, що в кваліфікаційній роботі відсутні порушення норм академічної доброчесності.

Здобувач-дипломник _____ Петров В.В. _____

РЕФЕРАТ

КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ МАГІСТРА (ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ)

Тема: Розробка конструкції мікрохвильової стрічкової сушильної установки з комбінованим способом вологовидалення

Спеціальність: 133 «Галузеве машинобудування»

Освітньо-професійна програма «Системний інжиніринг харчових, мікробіологічних та фармацевтичних виробництв»

Випускника, за ОПС «магістр»: Петрова Владислава Віталійовича

Керівник роботи: доцент каф. ПОтаЕМ, к.т.н., Яровий Ігор Іванович

Ключові слова: комбіновані способи сушіння, мікрохвильове сушіння, стрічковий конвеєр.

Актуальність теми

Тема кваліфікаційної роботи пов'язана з розробкою конструкції мікрохвильової стрічкової сушильної установки з комбінованим способом вологовидалення. Актуальність обраної теми визначається інноваційністю технології мікрохвильового нагрівання вологої сировини в процесах сушіння.

Мета і завдання роботи

Кваліфікаційна робота (дипломний проект) складається з графічної частини у вигляді семи аркушів креслень виконаних на аркушах формату А1, які містять: Креслення загального виду установки, креслення сушильної камери, кінематичну схему приводу установки, креслення деталювання: приводу, барабану привідної станції, натяжної станції та креслення з матеріалами результатів дослідження.

Текстова частина роботи (проекту) обсягом сто чотирнадцять сторінок складається з наступних частин та розділів. Анотація та вступ. Основна частина, в якій виконано опис типових та комбінованих способів сушіння, аналіз особливостей процесу комбінованого вологовидалення та технічний проект розробленої установки. Для деталізації розроблених в технічному проекті рішень виконано вибір компонентів технологічний розрахунок параметрів установки, розрахунки стрічкового конвеєра установки, розрахунок

потужності електроприводу конвеєра та розрахунок на міцність одного з компонентів приводу конвеєра.

В завершальній частині пояснювальної записки проекту приведено перелік основних вимог охорони праці і техніки безпеки, яких треба дотримуватись при експлуатації мікрохвильового обладнання а також розділ з техніко - економічним обґрунтуванням рішень запропонованих в проекті і розрахунками кошторисної вартості капітальних витрат проекту.

В цілому проект містить: вступ, три основних розділи, заключення, додаток та список використаних літературних джерел, що включає вісімнадцять найменувань. Всього текстова частина містить 112 сторінок, 65 рисунків, 6 таблиць.

Випускник

Владислав ПЕТРОВ

(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

(Підпис)

ЗМІСТ

Анотація	4
Список скорочень	5
Вступ	6
I. Актуальність проблем сушильних технологій	7
1.1. Типові способи сушіння	12
1.2. Класифікація способів сушіння	17
1.3. Аналіз технологічних та енергетичних проблем в процесах сушіння	21
1.4. Огляд сучасних технічних рішень для вирішення проблем в процесах сушіння	23
1.5. Комбіновані способи сушіння, переваги та недоліки	32
1.6. Аналітичні та експериментальні дослідження процесу комб. сушіння	36
1.7. Аналіз результатів досліджень, щодо технічно досяжних параметрів комбінованих способів сушіння	47
1.8. Енергетика процесу вологовидалення при комб. способі сушіння	55
1.9. Висновки щодо реалізації процесу сушіння комбінованим способом	56
II. Технічний проект мікрохвильової стрічкової сушильної установки з комбінованим способом вологовидалення	59
2.1. Розробка основних конструктивних вузлів сушильної установки	60
2.2. Розрахунок стрічкового конвеєра сушильної установки	63
2.2.1. Вибір конструкції стрічкового конвеєра установки	64
2.2.2. Вибір конвеєрної стрічки	69
2.2.3. Вибір барабанів стрічкового конвеєра	73
2.2.4. Вибір натяжного пристрою	76
2.2.5. Кінематичний розрахунок приводу конвеєра	79
2.2.6. Силовий розрахунок, вибір електродвигуна	86
2.2.7. Розрахунок на міцність	
2.3. Дослідження типових режимів енергоспоживання для комбінованого способу сушіння	94
2.4. Розробка конструкції сушильної камери установки	99
III. Заключна частина	
3. Охорона праці та техніка безпеки при використанні мікрохвильових технологій	106
4. Аналіз небезпечних для навколишнього середовища факторів, що можуть виникати при експлуатації установки	109
Заключення	110
Інформаційні джерела	111

					<i>KPM.П0таЕМ.1.78-03.2.1</i>			
<i>Змін.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Петров В. В.</i>			<i>Розробка конструкції мікрохвильової стрічкової сушильної установки з комбінованим способом вологовидалення</i>	<i>Літ.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Яровий І.І.</i>					3	60
<i>Зав. каф.</i>		<i>Бурдо О.Г.</i>				<i>П0таЕМ, гр. СІ-20МН</i>		
<i>Рецензент</i>								
<i>Н.контр.</i>								

АНОТАЦІЯ

Темою моєї кваліфікаційної роботи (дипломного проекту) є розробка конструкції мікрохвильової стрічкової сушильної установки з комбінованим способом вологовидалення.

Об'єктом проектування є сушильна установка, що використовує для видалення вологи з матеріалу його нагрівання електромагнітним випромінюванням високої частоти. Завдання на проектування передбачає як розробку конструкції основних вузлів установки так і проведення дослідження енергетичних характеристик процесу комбінованого сушіння та наступний вибір компонентів установки за характеристиками, що відповідатимуть результатам дослідження.

Наукова гіпотеза роботи полягає в наступному. Одними з найбільш універсальних мікрохвильових сушильних апаратів є стрічкові установки. Використання комбінованого видалення вологи збільшує переваги таких установок: продуктивність, швидкість сушіння, просте масштабування. Використання комбінованих способів сушіння потребує оцінки їх енергоефективності. В умовах високої вартості енергії саме цей показник визначає конкурентоздатність технології комбінованого сушіння.

Метою роботи є розробка конструкції установки комбінованого сушіння з сипучих матеріалів з високою енергетичною ефективністю процесу.

Задачами роботи є: аналіз принципів роботи апаратів з комбінованим способом сушіння; визначення основних залежностей, які впливають на рівень енерговитрат; порівняльний аналіз комбінованого способу сушіння з конкуруючими; аналіз дослідницьких даних; проведення енергоаудиту режимів вологовидалення; розробка конструкції та вибір компонентів для побудови сушильної установки з високим рівнем енергоефективності.

Об'єктом дослідження є режими вологовидалення при комбінованому способі сушіння та енерговитрати, що цей процес

супроводжують, зокрема для конструкції експериментально – дослідного стенду створеного на кафедрі ПЕОМ ОНТУ.

Предметом дослідження є структура енерговитрат, що характеризують процес комбінованого сушіння, аналіз їх величини та джерел виникнення, енергоефективність процесу комбінованого сушіння, економічні показники процесу та можливості по скороченню енерговитрат в конструкції установки, що розробляється.

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ

СВЧ – струми високої частоти

МХ – мікрохвильова (установка)

НВЧ – надвисокочастотний (модуль)

ІЧ – інфрачервона (сушарка)

ВСТУП

Підприємства які використовують в своїх технологічних процесах сушіння сировини, як правило мають декілька ділянок з сушильними установками інтегрованими у виробничі технологічні лінії або таких, що використовуються окремо від основного технологічного процесу в якості підготовчих ділянок для первинної обробки сировини або в якості ділянок для обробки готової продукції. Тобто об'єктом для удосконалення виробництва шляхом впровадження мікрохвильової сушильної установки може бути як технологічний процес так і окрема установка.

Так як мікрохвильові сушарки ще тільки впроваджуються у виробничі процеси то об'єктом удосконалення їх обрати важко, такими можуть бути їх складові елементи, та режими використання таких сушарок. Дослідження як складових мікрохвильових сушарок так і режимів їх роботи на прикладі стрічкової конструкції і виконано в даному проекті досліджень.

Основним процесом, що розглядається в дослідженні є процес нагрівання та випаровування вологи з рослинних матеріалів, які є основною сировиною в харчовій промисловості. Цей процес традиційно називають сушінням.

Процес сушіння вологих матеріалів є найбільш проблематичним у харчовій та переробній промисловості. Проблеми процесів сушіння зумовлені водночас декількома факторами: об'єкт сушіння – це органічна сировина зі складною структурою, нелінійними характеристиками та складною структурою корисних якостей, які різною мірою погіршуються в процесі сушіння; також складність полягає в кількох послідовно-паралельних процесах масообміну з різними параметрами та рушійними силами; обмеженість та застарілість конвективних технологій впливає на процес сушіння. Конвективний теплообмін, як основний вид енергетичного впливу на вологі об'єкти, практично вичерпав свої можливості. Використання в традиційних сушарках проміжного теплоносія супроводжується обов'язковими втратами енергії: при генерації тепла, утворенні сушильного агента, його транспортуванні до об'єкту

сушіння, передачі тепла від агента до матеріалу, що висушується, і тільки в кінці цієї послідовності конверсій енергії здійснюється цільовий вплив – нагрівання вологи в матеріалі.

Технологія конвективного сушіння, незважаючи на відносно просту реалізацію та наявність великої кількості установок, обмежена фізикою процесу теплообміну та не має потенціалу для значного підвищення енергоефективності. Конкурентні (неконвективні) способи сушіння забезпечать мінімальну кількість переходів і менші непродуктивні втрати енергії при передачі тепла від генератора до матеріалу, що сушиться [2]. Тому дослідники шукають нові способи сушіння рослинної сировини, зокрема комбіновані.

Одним із актуальних завдань при розробці нових сушильних пристроїв є розробка їх загального дизайну та конструкції, розрахунок параметрів та підбір типових функціональних вузлів для кожної агрегатної частини пристрою.

Основним завданням проекту є розробка конструкції стрічкової мікрохвильової сушильної установки з комбінованим способом вологовідведення для сушіння сипучої або різаної рослинної сировини. Складовими даного основного завдання є визначення доцільних енергетичних режимів сушіння та розрахунок конструктивних параметрів стрічкового приводу сушарки.

I. АКТУАЛЬНІСТЬ ПРОБЛЕМ СУШИЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Враховуючи поступальний розвиток підприємств харчової промисловості та високу собівартість процесів видалення вологи, для більшості напрямів переробки, важливим завданням є пошук нових, ефективних методів зневоднення харчової сировини та супутніх матеріалів, створення на їх основі високопродуктивних сушильних установок для подальшої інтеграції до існуючих виробничих ліній з повною або частковою заміною існуючих сушильних потужностей. Для вирішення цих завдань велике значення має розробка експериментальних та аналітичних методів дослідження процесів

сушіння та розробка актуальних розрахункових методів для проектування такого обладнання.

Хоча сушіння є дуже високовартісним та трудомістким процесом, воно дуже поширене в харчових технологіях і використовується майже у всіх галузях промисловості. Створення та впровадження сучасного сушильного обладнання є актуальним завданням, успішне вирішення якого буде значним внеском у підвищення ефективності харчових технологій та збільшення якості продукції.

Таблиця 1. Сушильне обладнання для обробки харчових продуктів

Найменування груп сушарок	Призначення
Шахтні	Сушіння сортового зерна, насіння, солоду
Тунельні	Сушіння фруктів, сухарів, чаю, макаронних виробів
Барабанні	Сушіння зерна, цукру
Розпилювальні	Сушіння масла (жиру), незбираного і знежиреного молока, меланжу, плазми крові
Вальцьові	Сушіння знежиреного молока
ЗТП-сушарки	Сушіння картоплі, моркви, фруктів, пряно-ароматичних рослин, горохів, солоду, дріжджів
Пневматичні	Сушіння кукурудзяного і картопляного крохмалю
Сушарки із псевдо-зрідженим шаром	Сушіння круп, казеїну, меланжу, зерна, овочів
Сублимаційні	Сушіння крові, казеїну, желатину

Як показують дані, наведені в таблиці 1, для сушіння харчових продуктів використовується велика кількість різноманітних сушарок, у процесі сушіння яких має бути забезпечена максимальна якість харчової сировини, збереження її властивостей та смакових переваг готової продукції, а також як висока ефективність процесу. Відповідно до цього необхідно вибрати відповідний спосіб сушіння. Основною характеристикою класифікації технології сушіння є спосіб забезпечення тепла вологого матеріалу, а найпоширенішими типами сушарок сьогодні є конвекційні та кондукційні.

Сушка є одним з найважливіших етапів багатьох процесів виробництва харчових продуктів. Об'єктами сушіння є різноманітні дисперсні, кускові,

пастоподібні та рідкі продукти на різних стадіях обробки.

Сушильне обладнання використовується в багатьох галузях харчової, м'ясо-молочної, рибної, борошномельної, плодово-ягідної, зернової та комбикормової промисловості. Вироби з різними фізико-хімічними та структурно-механічними властивостями потребують сушіння. Сьогодні кількість сушених продуктів стрімко зростає. Різноманітність таких виробів зумовлює різноманітність сушарок, що використовуються для їх виробництва (табл. 1).

В наш час стрімкого подорожчання енергоресурсів, їх економія та вибір енергоефективного процесу сушіння набувають особливої актуальності. На рис. 1 наведено порівняння різних способів сушіння за енерговитратами [9].

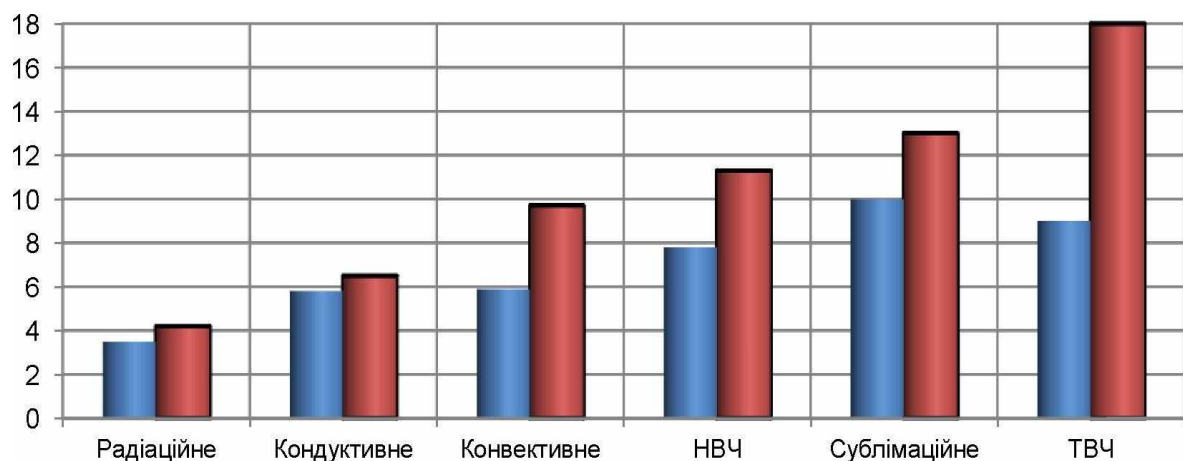


Рис. 1. Порівняння питомих енерговитрат за різних способів сушіння

Результати порівняння різних способів сушіння показують, що питома енерговитрата *конвекційного сушіння* не є найнижчою, але цей спосіб має багато переваг: високу продуктивність, просту організацію процесу, експлуатації та конструкції обладнання тощо. Шафове, барабанне та стрічкове сушильне обладнання з конвективним нагріванням широко представлене на ринку України.

Під час конвекційного сушіння енергія теплоносія використовується не повністю (рис. 2) [9], що пов'язано з умовами водно-теплового балансу між висушуваним матеріалом і сушильним середовищем. Однак через відносно низький потенціал газоохолоджувача на виході з сушильного обладнання

виникають труднощі при утилізації та повторному використанні тепла відпрацьованого сушильного агента.

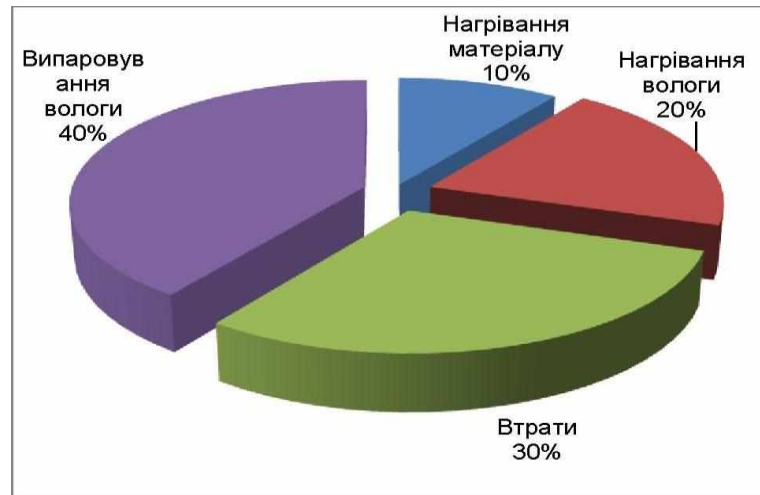


Рис. 2. Тепловий баланс процесу сушіння

Найширшого промислового застосування набули конвективні сушарки різних конструкцій (камерні, барабанні, пневматичні, стрічкові та ін.). В основному варіанті конвективного сушіння осушувач попередньо нагрівають до максимально допустимої температури в нагрівачі і пропускають через робочу камеру, безпосередньо контактуючи з матеріалом, що висушується. Конвективний спосіб теплопередачі досить добре вивчений і його недоліки добре відомі як розробникам сушильних технологій так і промисловцям [6,7], тому розробка нових способів нагрівання та видалення вологи з сировини і нових технологій та обладнання для сушіння сировини і готової продукції для харчової промисловості є дуже актуальними задачами.

Технології мікрохвильового сушіння є одними з найбільш актуальних серед всіх альтернативних способів сушіння. Вони дозволяють зберігати більше корисних речовин у продуктах та зменшують час сушіння. Також, мікрохвильове сушіння може бути використано для сушіння різних продуктів, таких як фрукти, овочі, зернові культури та інші.

Мікрохвильове сушіння є одним із перспективних напрямів досліджень, оскільки цей метод значно ефективніший за традиційні способи сушіння зерна, і водночас мало вивчений. Серед факторів, від яких залежить процес

мікрохвильового сушіння, можна відзначити: швидкість просування вологи через мікропори продукту, початкову температуру і вологість сировини, положення головного магнетрона щодо сушіння. об'єкта, і швидкість руху сировини всередині сушильної камери. Щоб посилити процес мікрохвильового сушіння, доцільно використовувати комбіновані ефекти, такі як продування шару сировини яка обробляється атмосферним повітрям, що покращує інтенсивність і якість процесу мікрохвильового сушіння. В такому випадку комбінуються два способи вологовідведення та фільтраційне відведення (видування) вологи. Можуть використовуватися одночасно і більше двох факторів впливу, що додатково збільшуватиме швидкість обробки сировини. Комбіновані способи сушіння можна вважати найбільш актуальним та перспективним напрямом дослідження.

Сушильні установки з комбінованим способом видалення вологи на основі мікрохвильового нагрівання сировини - це новий тип обладнання, яке для видалення вологи з матеріалу використовує діелектричний нагрів матеріалів високочастотним електромагнітним полем (мікрохвильового діапазону). Експериментальна установка такої конструкції розроблена на кафедрі процесів, обладнання та енергоменеджменту. Конструкція установки має три зони мікрохвильового та інфрачервоного сушіння. Для реалізації більш складного комбінованого способу вологовидалення установку доцільно модернізувати, доповнивши її системою продування шару оброблюємого продукту, що дозволить більш детально дослідити потенційні можливості цієї технології.

В ході роботи над цим проектом я ознайомився з науковими статтями про будову та принципи роботи мікрохвильового сушильного обладнання, про типові математичні моделі процесу, про особливості використання такого обладнання у виробництві та про види матеріалів, з якими такі установки найкраще працюють.

Мікрохвильові установки є обладнанням універсальним, призначеним для сушіння та стерилізації вологих матеріалів. Найпоширенішим типом такої

конструкції є конвеєрна стрічкова установка для переробки сипучих продуктів: круп, бобових, фруктово-овочевої нарізки, м'ясної нарізки, зелені, листя та сипучих матеріалів.

Через технічну складність і високу вартість мікрохвильові установки на сьогодні використовуються обмежено. Як нова технологія, вони мають стати більш поширеними та економічно доступними по мірі переходу промисловості до випуску серійних моделей.

Метою даного проекту є розробка конструкції стрічкової мікрохвильової сушильної установки з комбінованим способом вологовидалення.

Використовуючи методи та напрацювання науковців університету, комбінуючи створені ними методи і рекомендації щодо конструкції установки, необхідно провести аналіз та аналітичне дослідження процесу комбінованого вологовидалення в дослідній установці та розробити технічний проект.

1.1. Типові способи сушіння

Авторами [11] пропонується наступна класифікація існуючих способів сушіння, представлена на рис. 1. Згідно з цією класифікацією способи сушіння вологих матеріалів при післязбиральній обробці можна розділити на два основних: сушіння без зміни агрегатного стану матеріалу і сушіння зі зміною агрегатного стану матеріалу.

Перший принцип зневоднення отримав втілення в механічному (фільтрація, пресування, центрифугування) і сорбційному (змішування з вологопоглинаючими речовинами) способах сушіння.

Механічний спосіб застосовують в тому випадку, коли в речовині є вільна волога. Його доцільно застосовувати лише при видаленні вільної вологи із зерна (наприклад, намоченого дощем, після вологого знезараження або сортування за питомою вагою в рідині).

Сорбційний спосіб застосовують головним чином при сушінні тих матеріалів, які втрачають свою якість при традиційному сушінні при нагріванні

(особливо бобові культури). Плоди таких культур починають тріскатися вже при нагріванні до 27 °С. При сорбційному сушінні вологий матеріал змішують з вологопоглиначем (силікагелем, хлористим кальцієм, осиковими плашками, тирсою та ін.) і витримують протягом певного часу, при цьому вологість всієї зернової маси вирівнюється.

Найбільш поширеним зневоднення є – теплове сушіння.

Воно пов'язане з підведенням потоку теплоти до матеріалу для випаровування вологи. Інтенсивність тепло- і вологообміну обумовлена в основному перепадом парціальних тисків водяної пари, що визначаються перепадом температур зерна і сушильного середовища. Тому в основу класифікації методів сушіння покладено способи передачі теплоти до зерна, що просушується. Залежно від способу передачі теплоти розрізняють: конвективний, кондуктивний (контактний), молекулярний (сублімацією), радіаційний, електричний (струмами високої частоти) та комбінований способи теплового сушіння.

При конвективному способі сушіння теплота, необхідна для нагрівання матеріалу і випаровування з нього вологи, передається йому конвекцією від рухомого газоподібного теплоносія (нагрітого повітря або його суміші з пічними газами), який називається агентом сушіння. Агент сушіння не тільки передає теплоту матеріалу, але також поглинає і забирає випаровану з нього вологу.

Ще одним поширеним способом є кондуктивний. При такому способі вологий матеріал (об'єкт сушіння) знаходиться в безпосередньому контакті з нагрітою поверхнею і отримує теплоту від неї шляхом кондукції (теплопровідності). В якості нагрітої поверхні використовують труби, що обігріваються паром, гарячою водою або газом.

Даний спосіб може використовуватися як при нормальному атмосферному тиску повітря, так і в вакуумі. Такий спосіб сушіння малоефективний, оскільки пов'язаний з великою витратою енергії, має низьку швидкість і не забезпечує необхідної якості сушіння через нерівномірне

нагрівання шарів зернової маси, розташованих на різних рівнях від нагрітої поверхні.

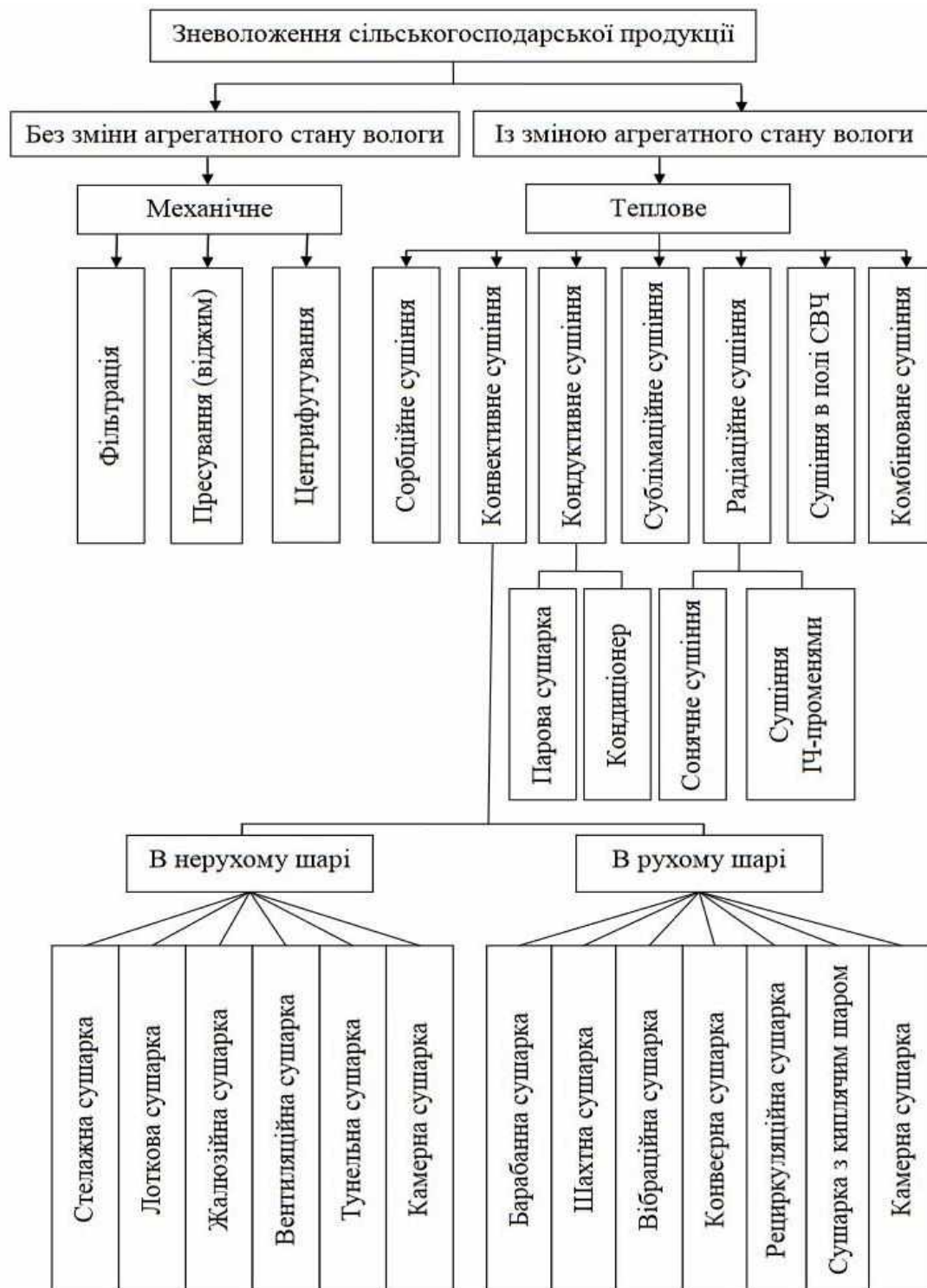


Рис. 3. Класифікація способів сушіння.

Застосування вакууму дозволяє вести кондуктивне сушіння при більш низьких температурах і дає можливість збільшити його швидкість. Однак складність обладнання та значні витрати електроенергії обмежують поширення

цього способу.

До кондуктивного способу відносять і сушіння в рідких середовищах, при якому теплота береться від гарячої рідини, що змочує матеріал. В якості рідкого середовища використовують хімічну оліфу, вазелін, розплавлену сірку. При цьому способі, внаслідок заміни дифузійного переносу вологи молярним рухом пари, обумовленим градієнтом тиску, швидкість сушіння зростає в 5-10 разів у порівнянні з конвективним, а потік теплоти на 1 кг випарованої вологи потрібно більше. Однак цей спосіб використовується головним чином для сушіння деревини.

Радіаційний спосіб сушіння характеризується тим, що потік теплоти до вологого матеріалу підводиться у вигляді променевої енергії. Радіаційне сушіння можна поділити на природне (сонячними променями) і штучне (інфрачервоними променями)

Сушіння ІЧ променями, які генеруються генераторами інфрачервоного випромінювання, характеризується високою напругою теплового потоку, що виникає на поверхні матеріалу, що опромінюється. Терморадіаційне підведення тепла інфрачервоними променями (мікронізація) викликає інтенсивне нагрівання зерна, тому волога, що міститься в ньому, випаровується. З огляду на швидкоплинність цього процесу тиск водяної пари підвищується, а, як відомо, підвищення температури і тиску значно прискорює хід хімічних реакцій, і в певних межах біохімічних. У зв'язку з цим відбувається значне руйнування токсичних речовин, часткова денатурація білків, відбувається руйнування структури сирого крохмалю.

Після такої обробки зерно придатне тільки для кормових цілей, для згодовування тваринам. До переваг цього способу можна віднести короткочасність і високу ефективність процесу. Тому його застосування обмежується властивостями матеріалів, які є об'єктом сушіння. Поряд з цим, сушарки, які працюють за таким принципом, мають високу пожежонебезпечність і температуру процесу, негативно позначаються на збереження поживних речовин і значні витрати електроенергії.

Сублімація (молекулярне сушіння) проводиться в умовах глибокого вакууму. Процес протікає так, що на початку теплота, необхідна для випаровування вологи, відбирається від матеріалу, що висушується, внаслідок чого його температура значно знижується, а волога, яка в ньому залишилася, заморожується і виходить на поверхню у вигляді кристаликів льоду; в подальшому, при підведенні теплоти ззовні, відбувається випаровування льоду – безпосереднє випаровування його в водяну пару, минаючи рідку фазу. Молекулярна структура матеріалу при цьому зберігається. Сушіння сублімацією застосовують в тих випадках, коли потрібно зберегти початкові властивості продукту (колір, смак, запах). Різне зниження гігроскопічності забезпечує можливість тривалого зберігання, а висока пористість висушеного матеріалу обумовлює відновлення його початкових властивостей при обводнюванні. Цей спосіб знаходить застосування при сушінні фруктів, овочів, м'яса, різних біологічних препаратів. Продуктивність сублімаційних сушарок низька, складність обладнання і висока вартість сушіння стримує поширення цього способу.

Електричний спосіб сушіння, або сушіння струмами високої частоти (СВЧ), полягає в наступному. Матеріал-діелектрик поміщають в поле СВЧ між двома пластинами (обкладинками конденсатора); його молекули поляризуються і приводяться в коливальний рух, що супроводжується тертям частинок і нагріванням матеріалу; волога, що виділилася в результаті нагрівання і випаровування, видаляється разом з повітрям, яке її поглинуло. Незважаючи на ряд переваг (швидкий і рівномірний нагрів матеріалу, висока інтенсивність сушки), сушіння в полі СВЧ не знаходить широкого застосування при сушінні сільськогосподарських матеріалів внаслідок великої витрати електроенергії.

Останнім часом починає широко використовуватися надвисокочастотне (діелектричне) нагрівання з використанням енергії змінного електромагнітного поля НВЧ діапазону. Діелектричне нагрівання засноване на зсуві зарядів, диполів і пов'язаних з ним молекул при впливі на матеріал змінного

електромагнітного поля. На переміщення заряджених частинок (поляризацію) витрачається робота, яка через наявність внутрішнього "міжмолекулярного тертя" перетворюється в теплову енергію. Сушіння характеризується високою швидкістю підведення тепла, а, отже, і інтенсивністю пароутворення в продукті. При цьому швидкість пароутворення перевищує швидкість його перенесення, що призводить до виникнення градієнта тиску. Таким чином, перенесення вологи здійснюється не тільки за рахунок градієнта вологості і температури, але і за рахунок градієнта тиску. Як показали дослідження, при впливі на зерно СВЧ-енергією в результаті утворення у середині зерна надлишкового тиску волога з внутрішніх шарів інтенсивно переміщується до поверхні, де виділяється в капілярно-рідкому стані, або ж випаровується в зовнішнє середовище. При цьому спостерігається дуже висока швидкість сушіння. Однак, якісні показники зерна в результаті майже ударного температурного впливу, в порівнянні з конвективним сушінням, виявляються значно гіршими і питомі енерговитрати майже в 1,5 рази більші.

Застосування комбінованих способів дозволяє значно збільшити швидкість сушіння, скоротити витрату енергії, домогтися більш гнучкого управління процесом і в результаті цього не тільки скоротити всі цінні якості матеріалу, що висушується, але і часто поліпшити їх. До комбінованих способів можна віднести: радіаційно-конвективний, кондуктивно-конвективний та ін. Так, наприклад, швидке нагрівання в полі СВЧ з випаровуванням вологи потоком нагрітого повітря дозволяє більш ніж в 2 рази скоротити витрату електроенергії (в порівнянні з високочастотним), в 1,5-2 рази підвищити швидкість сушіння (у порівнянні з конвективним).

1.2. Класифікація способів сушіння

За режимом роботи зерносушарки поділяються на три групи безперервної дії, періодичної дії, напівперіодичної дії. Конструктивні схеми більшості основних типів сушарок наведені в [12].

Камерні сушарки (рис. 2) є герметичними камерами, всередині яких

матеріал, що висушується, в залежності від його виду розташовується на сітках, деках, затискачах і інших пристроях. Свіже повітря за допомогою вентилятора 3 через калорифер 2 подають в простір камери, всередині якої знаходяться полиці 1 з матеріалом, що висушується.

Перевагами камерних сушарок можна вважати простоту будови та роботи. Недоліками: відносно мала продуктивність, спричинена періодичністю дії; отримання зернової сировини з нерівномірною вологістю по всьому об'єму

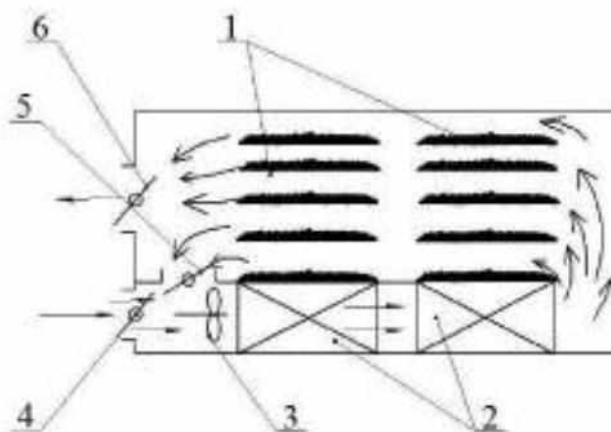


Рисунок 2. Камерна сушарка. 1 – полиці для завантаження матеріалу, що висушується; 2 – калорифер; 3 – вентилятор; 4, 5, 6 – заслінки для регулювання втрат свіжого, рециркулюючого і відпрацьованого повітря.

Тунельні сушарки, як правило, є апаратами безперервної дії, які представляють собою довгі камери, в яких розміщуються вагонетки з матеріалом, що висушується (рис. 3).

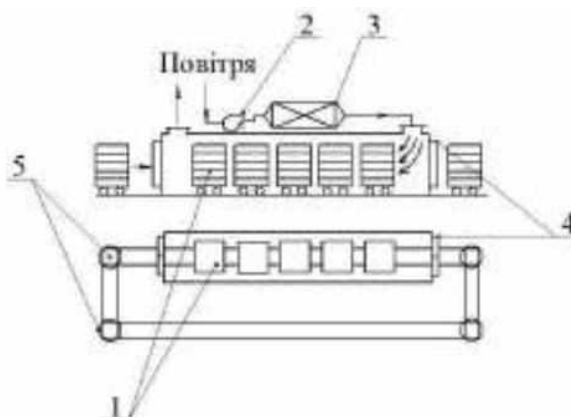


Рисунок 3. Тунельна сушарка. 1 – вагонетки з матеріалом, що висушується; 2 – вентилятор; 3 – калорифер; 4 – герметичні двері; 5 – поворотні

кола

У середині тунелю по рейках повільно переміщується ряд вагонеток 1, завантажених матеріалом, що висушується. Потік нагрітого повітря подається вентилятором 2 через калорифер 3, проходить уздовж тунелю, продуваючи поверхню матеріалу, що висушується (в даному випадку протivotоком), і випаровуючи вологу. Торці тунелю закриваються щільно прилеглими дверима-шлюзами 4, які періодично відкриваються для видалення з донного кінця вагонетки з висушеним матеріалом і завантаження з іншого кінця вагонетки з вологим матеріалом. Перевага – безперервність дії. Недолік – нерівномірність сушіння через погане перемішування матеріалу.

Стрічкові сушарки (рис. 4) призначені для сушіння сипких (зернистих, гранульованих, грубодисперсних) і волокнистих матеріалів, а також готових виробів і напівфабрикатів.

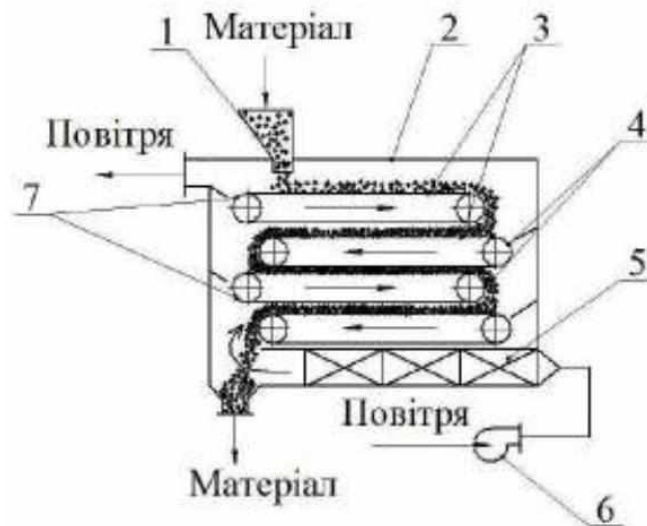


Рисунок 4. Стрічкова багатоярусна сушарка. 1 – живильник; 2 – сушильна камера; 3 – стрічкові транспортери; 4 – ведучі барабани; 5 – калорифер; 6 – вентилятор; 7 – ведені барабани.

У даних сушарках сушіння здійснюється безперервно при атмосферному тиску. У сушильній камері 2 висушуваний шар рухається на нескінченних стрічках (транспортерах), натягнутих між ведучими 4 і веденими 7 барабанами. При пересипанні матеріалу зі стрічки на стрічку збільшується поверхня його

контакту з сушильним агентом, що підвищує швидкість сушіння. Стрічкові сушарки бувають прямоточні і протитечійні. Перевагою стрічкових сушарок є безперервність дії. Основними недоліками є велика металоємність і складність обслуговування.

Барабанні сушарки (рис. 5) призначені для безперервного сушіння кускових, зернистих і сипких матеріалів: зерна, насіння соняшнику тощо. Барабанна сушарка складається з циліндричного зварного барабана 4, встановленого з невеликим нахилом до горизонту ($2-7^\circ$) і спирається за допомогою бандажів 3 на ролики 10. Барабан приводиться в обертання електроприводом 11 через зубчасту передачу за допомогою вінця 5. Частота обертання барабана зазвичай не перевищує 5-8 об/хв. Матеріал подається в барабан живильником 2 і надходить на внутрішню насадку 9, розташовану уздовж майже всієї довжини барабана. Насадка, тип якої визначається властивостями матеріалу, що висушується, забезпечує рівномірний розподіл і перемішування матеріалу по перерізі барабана, а також його контакт з сушильним агентом при пересипанні.

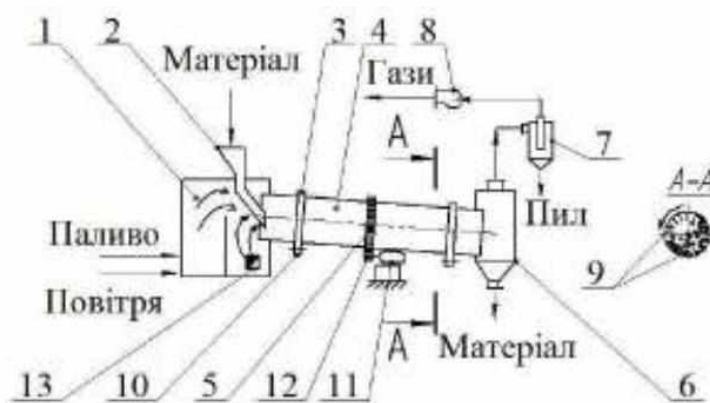


Рисунок 5. Барабанна сушарка. 1 – камера згорання; 2 – живильник; 3 – бандажі; 4 – барабан; 5 – зубчастий вінець; 6 – розвантажувальна камера; 7 – циклон; 8 – вентилятор; 9 – підйомно-лопатева насадка; 10 – опорні ролики; 11 – електропривод; 12 – зубчаста передача; 13 – вікно для подачі вторинного повітря.

До переваг барабанних сушарок слід віднести: велику продуктивність, високу економічність у витратах тепла й електроенергії, надійність у роботі,

простоту конструкції і зручність експлуатації. Недоліки сушарок обумовлюються їх громіздкістю, високими капітальними витратами, тривалому контакті матеріалу з тепловим агентом (до 40 хв), забрудненням продуктів золою з топки (0,2-0,7 %), а також пожежонебезпекою та викидами в атмосферу.

1.3. Аналіз технологічних та енергетичних проблем в процесах сушіння

Основним завданням процесу зневоднення харчових продуктів є видалення вологи з продуктів до такого рівня, щоб мінімізувати можливість розвитку мікробів, що і забезпечує заданий термін зберігання. У процесі сушіння харчові продукти піддаються термічному впливу, що викликає фізичні та біохімічні зміни, які впливають на характеристики продукту: структуру, колір, хімічний склад, харчову цінність тощо. Це означає, що критерієм оцінки ефективності способу сушіння повинні бути також результати термічного впливу на висушений продукт (що відповідає заздалегідь визначеним вимогам).

Сушіння – найприродніший спосіб збереження. Сушіння дає змогу одержувати продукти з високими споживчими властивостями без використання консервантів і барвників. Висушування не руйнує цілісність клітин, а лише видаляє воду з клітин. Таким чином, після поливання матеріал, виріб не втрачає своєї структури і може використовуватися без додаткової термічної обробки.

Сушіння – також найпростіший спосіб збереження великої кількості сировини, він вирішує екологічні проблеми продукту та є економічно вигідним (дешеві овочі, зібрані та перероблені у своєму регіоні, добре замінюють дорогі іноземні фрукти взимку). Сушені продукти не вимагають великих складських приміщень і специфічних умов зберігання, а використання сушених овочевих напівфабрикатів у технології страв і кулінарних виробів дозволяє значно скоротити тривалість процесів приготування їжі.

У процесі сушіння продукт істотно змінюється. Зміни залежать, перш за все, від обраного способу і режиму сушіння. Основними змінами є: усадка,

зміна кольору, затвердіння, порушення регенераційної здатності, втрата летких речовин. Усадка матеріалу під час сушіння є природним процесом у процесі сушіння, коли розмір сировини зменшується. Рослинна сировина (овочі, фрукти) є капілярною речовиною, і в процесі сушіння її об'єм зменшується в 3-4 рази. При рівномірному висиханні відбувається усадка при збереженні форми. Нерівномірне висихання призводить до деформації форми частинок. При великих змінах вологості в шарах матеріалу можуть утворюватися зазори і тріщини. Незворотні зміни, які виглядають як побуріння, зміна кольору або обвуглювання.

Перегрів матеріалу найлегше відслідкувати за зміною кольору. Побуріння в процесі сушіння викликається реакцією меланоїдоутворення між амінокислотами і відновлюючими цукрами, карамелізацією за рахунок термічного розкладу цукрів, а також ферментативними реакціями, пов'язаними з процесом окислення.

При сушінні овочів може виникати ситуація практично повної зупинки процесу видалення вологи внаслідок того, що верхній шар часток сировини внаслідок висушування твердіє і стає непроникним для вологи. Через таку поверхню волога не виступає на поверхню частинок і не випаровується. При цьому всередині часток продукту залишається багато вологи. Щоб уникнути такої ситуації, продукт з високою відносною вологістю, в початковий період сушіння обробляють сушильним агентом з невисокою температурою. Проте кращим варіантом є нарізання овочів на дрібні шматочки, тоді затвердіння поверхні частинок не відбувається.

Під час процесу сушіння здатність продукту до регідратації (відновлення) може бути порушена, як правило, в результаті необоротного видалення фізичної та хімічної вологи. В результаті висушений матеріал незворотно змінюється. Випаровуючись з матеріалу під час сушіння, волога виносить і летючі компоненти. В результаті сухий напівфабрикат втрачає смак і аромат.

Склад летючих речовин залежить від температури, при якій висушується продукт, а також від тиску парів летких компонентів у вибраному інтервалі

температур. Кінцева вологість продукту при виході із сушарки вибирається залежно від його призначення, умов транспортування і збереження. Найчастіше кінцева вологість напівфабрикатів становить 5. .6 %.

Основними факторами, що впливають на процес сушіння, є: температура нагрівання сировини, відносна вологість повітря, тиск, ступінь подрібнення сировини, товщина шару, максимальна температура для рослинної сировини не може перевищувати 70 - 75 °С.

Методи термічної обробки з використанням енергії мікрохвильового електромагнітного поля давно довели свою ефективність [1]. Використання мікрохвильового нагрівання вважається придатним для модернізації багатьох варіантів технології виробництва [4,8]. Однак через неповне розуміння впливу мікрохвильових полів на рослинні матеріали ми не змогли звернутися до ефективних мікрохвильових методів.

1.4. Огляд сучасних технічних рішень для вирішення проблем в процесах сушіння

Найактуальнішими проблемами сировини в сушильних установках є висока енергоємність процесу, висока вартість використовуваної енергії (в основному природного газу), неоднорідна якість висушеного продукту, велика тривалість процесу, недостатня екологічність та чистота висушеного продукту при сушінні димовими газами.

Харчова промисловість вимагає багато тепла на всіх етапах від вирощування до споживання. Узагальнюючи використання мікрохвильових пристроїв у харчовій промисловості, можна виділити наступні технологічні операції, *збільшити ефективність яких (як енергетичну так і технологічну) можливо шляхом впровадження мікрохвильових установок.*

Основні (узагальнені) переваги мікрохвильових систем при впровадженні в технологічні процеси харчової промисловості можна представити наступним переліком:

- Швидке та рівномірне нагрівання
- Селективне нагрівання
- Можливість використання великогабаритної сировини
- Скорочення відходів та рекуперація матеріалів
- Висока якість виробництва
- Нові матеріали та продукти
- Енергоефективність
- Загальна економічна ефективність
- Якісний контроль процесу
- Можливість роботи лише від джерела електроенергії

Сушіння є одним із головних термічних процесів, призначених для зниження вологості харчових матеріалів, і є *одним із найбільш енерговитратних процесів* у харчовій промисловості. Сушіння є важливим процесом у харчовій промисловості, так як продукти, що містять велику кількість води потребують сушіння для збереження або використання в різних рецептах переробки. Традиційний спосіб сушіння вимагає багато часу, місця та енергії. Механізм сушіння за допомогою мікрохвильової енергії дещо відрізняється від механізму звичайного сушіння. При звичайному сушінні волога спочатку видаляється з поверхні і тільки потім з внутрішньої частини. А при мікрохвильовому сушінні тепло виділяється безпосередньо всередині матеріалу, створюючи більш високу теплопередачу і, отже, набагато швидше підвищення температури, ніж при звичайному нагріванні. Мікрохвильові промислові сушарки підходять для сушіння майже всіх типів харчових продуктів, для тих, кому потрібен високий рівень точності, мінімальний час відгуку, екологічно чисте рішення, вищий рівень ефективності та вища точність.

Стерилізація та знезараження харчових продуктів, зерна та насіння. Стерилізація та знезараження харчових продуктів та пов'язаних з ними предметів стали незамінними через збільшення попиту на те, що продукти харчування та пов'язані з ними предмети повинні зберігатися протягом більш

тривалого часу, оскільки попит збільшився, а виробництво лякає. Традиційні методи консервації не спрацювали через мінливі умови навколишнього середовища, стерилізація та дезінсекція на основі нагрівання стають популярними, але звичайні системи нагрівання не можуть забезпечити бажаний результат. Рішення на основі мікрохвиль забезпечує екологічну стійкість, ефективність та є найбезпечнішим фізичним методом. Ключовим принципом знезараження є використання теплових ефектів електромагнітної енергії для знищення всіх мікроорганізмів шляхом досягнення їх фатальних температур.

Мікрохвильові системи, можуть використовуватись для дезінфекції всіх продуктів рослинного походження, заражених шкідниками, таких як злаки, насіння, кедрові горіхи, бобові (квасоля, нут, сочевиця) та сухофрукти (фініки, смородина, та інші). Основними причинами втрати агропродукції є етап після збирання врожаю та подальше зберігання, коли біологічні зараження, що починаються на полі, значно знецінюють велику кількість продукту за дуже короткий час. Скорочення оброблюваних земель і зростаючий попит на продукти харчування через ріст населення, призвели до того, що безпека продуктів харчування стає головним пріоритетом після їх кількості.

Переваги систем мікрохвильової стерилізації та дезінсекції:

- Повна ефективність: 100% смертність шкідників на всіх стадіях життя (яйця, личинки, лялечки та дорослі особини).
- Без істотних змін якості: фізичні характеристики деревини та харчові характеристики харчових продуктів.
- Відсутність забруднюючих впливів, шкідливих для операторів та навколишнього середовища
- Продукти рослинного походження, вільні від сканування екзотичних шкідників, експортуються без будь-яких фітосанітарних обмежень.
- Відсутність токсичних залишків у кінцевих продуктах
- Збереження енергії

Таким чином технології мікрохвильового нагрівання вологої сировини є найбільш універсальним інноваційним способом теплового контрольованого

впливу на матеріали. Для харчової та переробної галузей дуже важливими характеристиками мікрохвильових технологій є їх екологічна чистота, можливість вибіркового впливу на сировину та універсальність застосування.

Зокрема технології МХ сушіння та стерилізації вже достатньо розвинені, щоб їх використовувати для інтеграції в існуючі технологічні процеси.

Промислові мікрохвильові установки безперервної дії. Є основним типом промислового обладнання, безперервні мікрохвильові системи виробляють більше продукту з використанням менших ресурсів. Для більшості застосувань безперервна мікрохвильова установка виявляється ефективнішою в порівнянні з іншими типами систем мікрохвильового нагріву. Типове застосування обладнання безперервної дії:

- Конвеєрне сушіння та нагрівання
- Стерилізація та знезараження
- Системи затвердіння
- Лінії виробництва та переробки
- Зневоднення хімікатів
- Обробка молочних продуктів
- Обробка продуктів харчування

Таблиця 2. Порівняння між звичайним та мікрохвильовим нагріванням

Звичайне нагрівання	Мікрохвильове нагрівання
Звичайні системи нагрівання мають повільну швидкість нагрівання, тепло передається повітрям.	Система мікрохвильового нагріву дуже швидко генерує тепло усередині матеріалу.
Нагріву екземпляра не відбувається, потрібен прогрів оточуючих.	Нагрівання матеріалів відбувається за рахунок руху молекул, тому час на прогрівання камери не потрібен.
Передача енергії походить від стінки, поверхні судини до суміші і, зрештою, до реагуючих речовин.	Основна суміш нагрівається безпосередньо, а поверхня (стінка судини) є джерелом втрати тепла.
Виробляє вуглець або токсичні	Екологічно чисте та екологічне

Звичайне нагрівання	Мікрохвильове нагрівання
гази, тому не так багато екологічно чистих рішень для нагрівання.	рішення для нагрівання, без викидів вуглецю.
100% використання енергії неможливе, тому що матеріал нагрівається навколишнім гарячим повітрям.	100% використання енергії, оскільки нагрівання відбувається усередині матеріалу.
Поганий індекс використання підлоги, так як для обертання матеріалу потрібна велика площа камери.	Покращений індекс використання підлоги, оскільки не потрібна площа камери.
Температура навколишнього повітря збільшується з підвищенням температури нагрівача.	Відсутність втрати температури у навколишньому середовищі робочому місці.
При звичайному нагріванні всі сполуки суміші нагріваються однаково.	У мікрохвильовій печі конкретний компонент може бути спеціально нагрітий.
Нагрівання здійснюється тепловим чи електричним джерелом.	Відбувається нагрівання електромагнітними хвилями.

Приклади промислових установок для мікрохвильового нагрівання:



Рис. 3. Мікрохвильовий нагрів для їжі

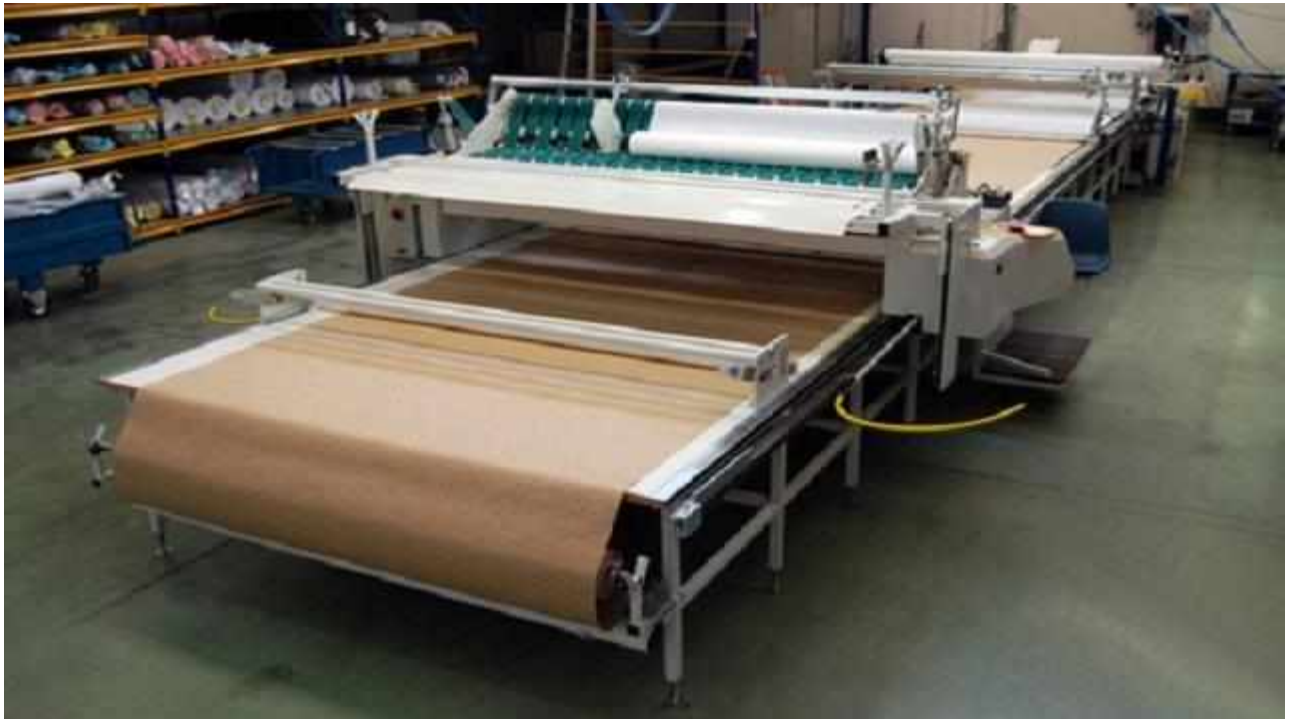


Рис. 4. Мікрохвильове нагрівання для текстилю



Рис. 5. Установка для швидкісного нагрівання в фармацевтичній промисловості

Залежно від вимог застосування використовують різні типи промислових мікрохвильових сушарок.

- Промислові мікрохвильові сушарки періодичної дії
- Промислові мікрохвильові сушарки напівперіодичного типу

- Безперервні (конвеєрні) мікрохвильові промислові сушарки
- Промислові мікрохвильові сушарки тунельного типу

Типові конструкції мікрохвильових сушильних установок для різних галузей застосування та різних типів сировини (фото з мережі Internet).



Рис. 8. Типова конструкція МХ установки.



Рис. 9. МХ сушарка інтегрована у технологічну лінію.



Рис. 10. Загальний вигляд (типова конструкція) МХ установки для сушіння та стерилізації сипучої сировини.



Рис. 11. МХ сушарка для попередньо подрібненої рослинної сировини.



Рис. 12. Загальний вид багатозонної МХ установки.

Технологія мікрохвильового сушіння активно розвивається в країнах Азії, в основному Китаї, Індії, Кореї, Таїланді та деяких інших країнах. Сьогодні технології мікрохвильової сушки відносяться до інноваційних технологій, а їх «просуванням» на світовому ринку займаються компанії, які відносять себе до технологічних компаній, що впроваджують найпередовіші промислові технології. Прикладами таких інноваційних бізнесів можна вважати китайську компанію «Industrial Microwave Machines» або індійську «Kerone», що спеціалізується на такому обладнанні. Ознайомитися з характеристиками такого обладнання, а також його перевагами та особливостями можна на сайтах цих компаній.



Рис. 13. Зразки мікрохвильового сушильного обладнання від компанії Industrial Microwave Machines.

Існують і інші компанії, що випускають мікрохвильове обладнання у вигляді сушильних апаратів різного призначення, більшість зразків мають у основі конструкції стрічковий конвеєр та декілька послідовно розташованих сушильних мікрохвильових камер. Такий підхід світових компаній до дизайну сушильного апарату підтверджує правильність обраної за основу конструкції мікрохвильової сушарки з стрічковим конвеєром як основним транспортним механізмом.

Узагальнюючи аналіз конструкцій можна підсумувати, що мікрохвильова стрічкова сушарка - це пристрій для сушіння сировини або продуктів за допомогою мікрохвильового випромінювання. Її обов'язкові складові це декілька камер для сушіння, обладнаних магнетроном (генератор мікрохвиль),

вентилятором для видалення випареної вологи, конвеєра для транспортування сировини по тунелю та камерах, системи управління магнетронами та всіма іншими пристроями сушарки.

Камера для сушіння зазвичай має форму куба, паралелепіпеда або циліндра і виготовляється з металу, для харчових застосувань – з нержавіючої сталі. Магнетрон кожної камери генерує мікрохвильове випромінювання, яке передається в камеру для сушіння через вхідний отвір, можливе застосування спеціальних хвильоводів – труб прямокутного перетину.

Вентилятор кожної камери забезпечує циркуляцію повітря в камері для розподілу тепла і видалення вологи.

Система управління контролює час і потужність генерації магнетрона та температуру матеріалу в камері сушіння.

1.5. Комбіновані способи сушіння, переваги та недоліки

Мікрохвильові промислові сушарки можуть задовольнити вимоги до сушіння майже для усіх типів промислових застосувань, що вимагають високої точності, найкоротшого часу процесу та екологічно чистого рішення з найвищою ефективністю. Точність і час стали критичними факторами у вимогах сучасних промислових процесів. Промислові мікрохвильові сушарки стали оптимальним рішенням для багатьох із таких застосувань промислового сушіння, використовуючи електромагнітні хвилі високої частоти для проникнення в матеріали та мобілізації молекул вологи зсередини матеріалу, досягаючи таким чином високої швидкості сушіння.

Мікрохвилі — це не вид тепла, а форма енергії, яка поводить себе як тепло завдяки взаємодії з матеріалами. Взаємодія викликає нагрівання самого матеріалу, а механізмом перетворення енергії, що використовується в цьому випадку, є обертання молекул – диполів, якими є молекули води. Через примусове виділення тепла всередині матеріалу, внаслідок обертання диполів, багато молекул, в т.ч. вода, мають асиметрію, тобто вони випадково орієнтовані у своєму розслабленому (нульовому) стані. Коли індукується електромагнітне

поле (мікрохвильове), воно створює магнітні лінії напруження для молекул і вирівнює їх за лініями електромагнітного поля, які постійно змінюють свою полярність, згасаючи до нуля і піднімаючись до максимуму, диполі при нулі повертаються до свого розслабленого стану і знову отримавши енергію від магнітного поля вирівнюються вздовж його ліній коли електромагнітне поле досягає свого максимуму. Зміна полярності в електромагнітному полі, що відбувається в мільйони разів на кожну секунду змушує диполі також вирівнюватися і розслаблятися мільйони разів на секунду. Ця зміна стану диполів призводить до перетворення енергії накопиченої потенційної енергії на теплову енергію.

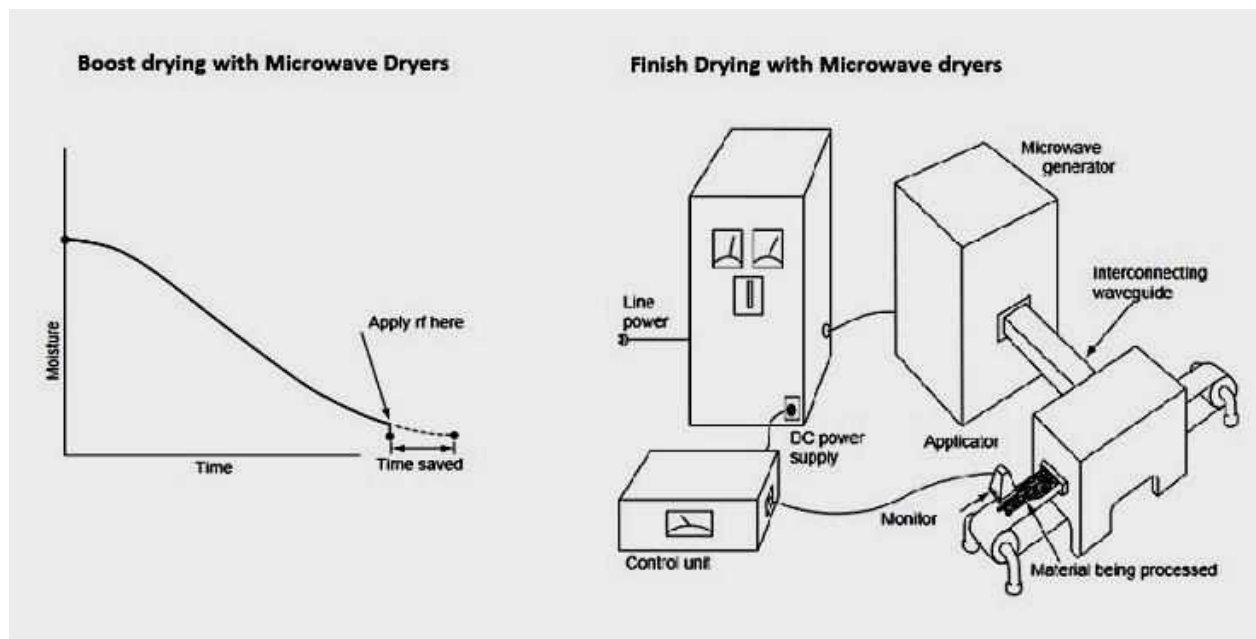


Рис. 6. Типова система сушіння в мікрохвильовій установці.

Типова система мікрохвильового сушіння (рис. 6) складається з мікрохвильового генератора, аплікатора (хвильоводів), мікрохвильового блоку та системи управління.

Переваги мікрохвильових сушарок:

- Процес мікрохвильового нагрівання чистий, без викидів будь-яких газів чи залишків.
- Мікрохвильове тепло проникає як у поверхню, так і всередину предмета, поміщеного для обробки.

- Висока швидкість нагрівання скорочує загальний час обробки.
- Процес нагрівання в мікрохвильовій установці легко контролюється.
- МХ установки дуже компактні.
- За рахунок нагрівання матеріалу зсередини досягається найкращий результат сушіння.
- Вартість виробництва за допомогою мікрохвильових сушарок нижча, ніж у конвективних сушарок з повітряним потоком або прямою теплопередачею.

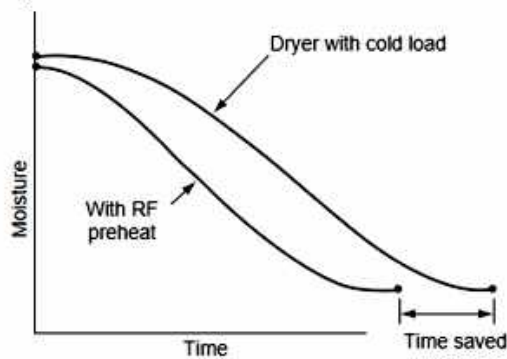
Особливості мікрохвильових сушарок:

- Продуктивність МХ установки регулюється в широких межах зміною швидкістю стрічки та товщиною шару продукту, що обробляється.
- Потужність МХ впливу на матеріал можна легко змінювати від 0 до 100% від максимальної.
- Контроль температури продукту можливий як на виході так і в проміжних точках процесу сушіння.
- Для керування процесом використовують програмовані логічні контролери, що забезпечує високу керованість та точність.
- Камери та тунелі виготовляють із нержавіючої сталі.
- Елементи безпеки (електричної та теплової) для мікрохвильового генератора та персоналу є невід'ємною частиною системи керування.

Мікрохвильовий нагрів можна використовувати в будь-якому типі сушіння, якщо він спроектований правильно, найбільш перспективним є використання даної технології для наступних галузей промисловості:

- Харчова промисловість
- Стерилізація та знезараження
- Паперова промисловість
- Фармацевтична промисловість
- Хімічна промисловість
- Текстильна промисловість
- Фармацевтика та біохімія
- Керамічна промисловість

Below are the typical drying curves for microwave dryers



Preheating with Microwave Dryers

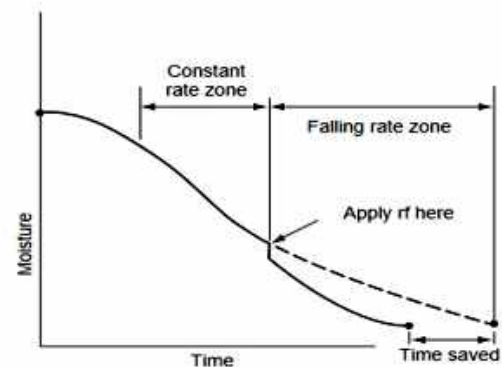


Рис. 7. Відображення принципів електромагнітного нагрівання в процесах вологовидалення.

Сучасна промисловість пропонує достатньо широкий спектр рішень для електромагнітного нагріву, що знаходять застосування у багатьох промислових процесах та установках. Як наслідок складності та різноманітності, технічні рішення для мікрохвильових установок розробляються спеціально для заданої продуктивності і тільки після вивчення технологічних вимог до процесу обробки, система нагрівання завжди складається з технічно складних компонентів, і розробляється після того, як усі технічні рішення перевірені і апробовані в інших установках. Лідери промисловості пропонують рішення для мікрохвильового нагріву різних форм і типів, їх основні характеристики:

- Найменший час обробки
- Швидке та рівномірне нагрівання
- Селективне нагрівання/сушіння
- Можливість використання великогабаритної (кускової) сировини
- Висока якість виробництва
- Нові матеріали та продукти
- Енергоефективність
- Загальна економічна ефективність
- Поліпшений контроль процесу
- Можливість роботи тільки від джерела електроенергії
- Низьке енергоспоживання

- Чистота та відсутність викидів будь-яких газів або залишків
- Висока керованість
- Компактний розмір

Мікрохвилі - це електромагнітні хвилі, що охоплюють діапазон частот від 300 МГц до 300 ГГц. Їх властивості аналогічні до світлових хвиль: вони відбиваються металевими предметами, поглинаються діелектричними матеріалами чи проводяться склом. Типові частоти, що використовуються в мікрохвильових печах, становлять 2450 МГц для печей загального призначення (домашніх) та 915 МГц для промислового використання. Поглинання мікрохвильової енергії в матеріалі включає в основному два механізми: іонну взаємодію та дипольне обертання. Електромагнітне нагрівання, такий як мікрохвильове (НВЧ) і радіочастотне (РЧ) нагрівання, використовуються в багатьох процесах, таких як повторне нагрівання, попереднє приготування, випічка, сушіння, пастеризація, дезінсекція і т. д. стерилізація в промисловості.

1.6. Аналітичні та експериментальні дослідження процесу комбінованого сушіння

Технологія мікрохвильового нагріву вологих матеріалів в першу чергу через складність конструкції та вартість реалізації потужних мікрохвильових генераторів та установок на їх основі, поки що, мало доступна на ринку технологій промислового сушіння. Внаслідок тих же причин і спосіб мікрохвильового сушіння залишається недостатньо вивченим.

Дія мікрохвильового (МХ) поля на вологі матеріали проявляється лише при достатній потужності поля. В такому випадку зовнішнє поле інтенсивно впливає на молекули води, що міститься в матеріалі і вже в результаті тремтіння молекул, пропорційно інтенсивності тремтіння, виділяється тепло, а вже у результаті виділення тепла відбувається нагрівання вологого матеріалу.

Таким чином можна вирішити одну з головних проблем сучасних технологій сушіння, використовуючи як джерело енергії лише мікрохвилі.

Проблема традиційних технологій полягає в тому, що тепло передається

волозі матеріалу через кілька агентів - посередників: спочатку тепло виділяється під час горіння палива, потім тепло передається сушильному агенту, потім сушильний агент нагріває вологий матеріал, і тільки в результаті нагрівання матеріалу тепло передається волозі, яка при достатньому енергозабезпеченні видаляється шляхом випаровування. На кожній із стадій цієї послідовності теплообміну відбуваються непродуктивні втрати, і в кінці ланцюга перетворень навіть до вологого матеріалу (суха частина якого становить значний відсоток) потрібно додати рівно стільки тепла, щоб нагріти увесь матеріал до такої температури, щоб відбувалося інтенсивне випаровування вологи. При детальному аналізі така схема відведення вологи не виглядає оптимальною [1].

Сушіння в МХ-полі на фоні конвективного виглядає ідеальною альтернативою, цей спосіб сушіння дозволяє виділяти тепло, безпосередньо впливаючи на вологу, що міститься в матеріалі, без посередників, мінімально нагріваючи сам оброблюваний матеріал. Різниця в механізмах взаємодії показана на схемі (рис. 14) [1].

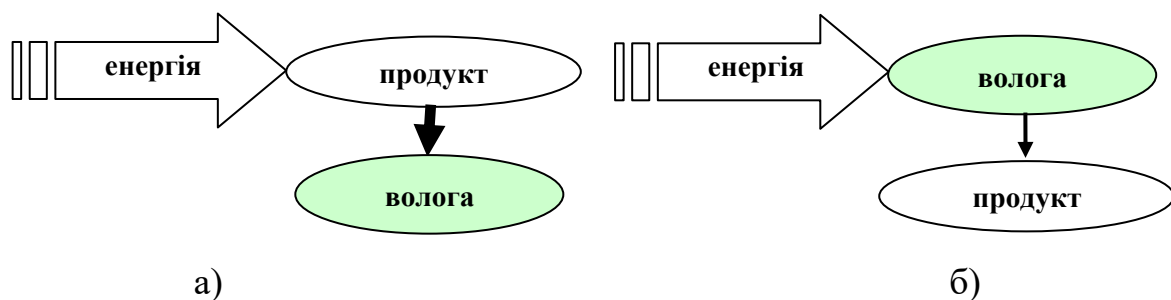


Рис. 14. Схеми енергоспоживання: а) традиційне конвекційне сушіння; б) МХ-сушіння.

МХ – сушіння має багато переваг порівняно з традиційним сушінням:

- для роботи МХ сушарки використовується лише електроенергія, крім електромагнітного випромінювання дозованої потужності та помірних теплових впливів на об'єкт сушіння немає (суттєво менше в порівнянні з

конвективними технологіями), тобто МХ сушіння є повністю екологічним та безпечним;

- нагрів під впливом поля МХ відбувається інтенсивно, швидко і безінерційно (за правильних умов), що забезпечує на порядок вищу продуктивність порівняно з конвективними технологіями;

- процес сушіння відбувається при значно нижчих температурах і добре контролюється, в результаті чого якісні характеристики сировини зберігаються набагато краще (що дуже важливо для харчових продуктів);

- оброблюваний матеріал (його суха частина) нагрівається менше, ніж міститься в ньому волога, відповідно, непродуктивні витрати енергії при МХ сушінні менші;

- нагрівання буде більш інтенсивним у вологих шарах продукту і зменшуватиметься по мірі випаровування вологи, тобто вологість продукту саморегулюватиметься в процесі сушіння;

- конструкція та структура МХ сушарки — відносно проста і компактна, вона складається з системи генерації МХ випромінювання і сушильної камери;

- при необхідності, продуктивність МХ сушарки легко збільшити до заданої;

Завдяки універсальності технології МХ нагрівання, сушарка може додатково виконувати функцію стерилізації сировини або готової продукції просто зміною режиму роботи.

Особливості взаємодії МХ-поля з вологою, яка знаходиться в капілярах і внутрішніх шарах вологого зерна дозволяють розраховувати на можливість створення такого режиму роботи МХ-поля, при якому випаровування води в капілярах буде відбуватися більш інтенсивно за умови, що волога в капілярах буде наявна в достатній кількості. Тоді кульки пари, що утворюються в капілярах працюватимуть як додаткова сила, що виштовхує вільну вологу з капілярів без повного її випаровування. Такий ефект, який отримав назву «бародифузія» і він його вже реалізовано в лабораторних експериментах. Схема комбінованого способу сушіння ілюструється на рис. 15 [1].



Рис. 15 - Схема бародифузійного процесу сушіння

Особливості математичного моделювання процесу мікрохвильового сушіння описано в роботах [1-3], даний метод сушіння минає фазу прогріву теплоносія, діючи безпосередньо на вологу в глибині продукту завдяки електромагнітному полю, що дозволяє максимально скоротити втрати енергії в навколишнє середовище і на нагрівання продукту (оскільки електромагнітне поле гріє безпосередньо воду всередині продукту).

У період сушіння температура продукту не перевищує допустимих норм термічної обробки для продуктів харчування, що так само позитивно позначається на зовнішньому вигляді висушеного продукту.

Патентний огляд виконано у відповідності з патентними базами даних України та близького зарубіжжя. Аналіз патентних даних в європейських, американських та азійських базах даних не проводився.

Найбільш близький за змістом до розробляємої конструкції є патент на корисну модель «Сушарки для сипучих компонентів» № 88927, отриманий колективом науковців ОНАХТ у 2013 році.

Бібліографічні дані	Реферат (uk)	Реферат (ru)	Реферат (en)	Опис
Патент на корисну модель				патент не діє ●
(11) 88927	(51) МПК (2014.01) F26B 15/00			
(24) 10.04.2014				
(21) u201311015	(22) 16.09.2013			
(46) 10.04.2014, бюл. № 7				
(71) ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ (UA) ОДЕССКАЯ НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ ПИЩЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ (UA) ODESA NATIONAL ACADEMY OF FOOD TECHNOLOGIES (UA)				
(72) Бурдо Олег Григорович (UA); Яровий Ігор Іванович (UA); Светлічний Павло Іванович (UA) Бурдо Олег Григорьевич (UA); Яровой Игорь Иванович (UA); Светличный Павел Иванович (UA) Burdo Oleh Hryhorovych (UA); Yarovy Ihor Ivanovych (UA); Svetlichnyi Pavlo Ivanovych (UA)				
(73) ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ, вул. Канатна, 112, м. Одеса, 65039 (UA) ОДЕССКАЯ НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ ПИЩЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ (UA) ODESA NATIONAL ACADEMY OF FOOD TECHNOLOGIES (UA)				
(98) ОНАХТ, інформаційний -аналітичний відділ (ІАВ) вул. Канатна, 112, м. Одеса, 65039 (UA)				
(54) СУШАРКА ДЛЯ СИПУЧИХ МАТЕРІАЛІВ DRIER FOR BULK MATERIALS СУШИЛКА ДЛЯ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ				
(57) [немає даних]				

Рис. 6. Картка з бази даних патентів на корисну модель 88927.

Даний патент є результатом роботи науковців кафедри ПОтаЕМ по створенню дослідного зразка мікрохвильової стрічкової сушарки. Дослідна сушарка використовується для дослідження технологій сушіння, що використовують енергетичний вплив (нагрівання) на вологі матеріали надвисокочастотного (мікрохвильового) електромагнітного поля.

Характеристики установки: кількість комбінованих (МХ+ІЧ) сушильних модулів: 3 шт.; частота МХ генераторів 2450±50 МГц; потужність МХ: ≤ 2,4 кВт; потужність ІЧ: ≤ 3,6 кВт; швидкість стрічки конвеєра: 0-0,3 м/хв.; продуктивність: 3-10 кг/год.; габарити (д/ш/в): 3000x600x1200 мм.



Рис. 7. Загальний вигляд стрічкової сушильної установки ОНАХТ

Основним завданням, що реалізовується установкою – є створення базових умов для дослідження процесів, залежностей та обмежень мікрохвильового (електромагнітного) енергопідведення. В конструкцію установки закладено додаткову функціональність для реалізації комбінованого енергетичного впливу шляхом поєднання МХ сушіння з інфрачервоним (ІЧ) сушінням.

Конструкція установки дозволяє здійснювати контрольований і дозований вплив електромагнітним випромінюванням на матеріали, що транспортуються стрічковим конвеєром через три сушильних модулі, кожен з індивідуальним управлінням режимом електромагнітного випромінювання. Тривалість обробки матеріалу визначається швидкістю стрічки установки.

Схема мікрохвильової стрічкової сушарки в електромагнітному полі

НВЧ і ІЧ сушарка (рис. 16) складається з бункера завантаження - 1, через який сирий продукт надходить на стрічковий конвеєр - 2, який з допомогою приводу - 3, просуває продукт до модуля НВЧ - 4 і модуля ІЧ - 5, на технологічній лінії розміщено три таких модулі, далі висушений продукт вивантажується в бункер вивантаження - 6.

НВЧ модуль складається з магнетрону - 7, вентилятора - 8, високовольтного трансформатора - 9 і компресора - 10. ІЧ модуль складається з

ГЧ випромінювача - 11. За допомогою панелі управління - 12 відбувається налаштування підведеної потужності НВЧ випромінювання - 13, час роботи НВЧ модуля встановлюється на 10 хвилин, 1 хвилину і 10 секунд за допомогою кнопок - 14, 15, 16 відповідно, дані налаштувань потужності і часу виводяться на аналоговий датчик - 17, модуль вводиться в дію кнопкою «пуск/стоп» - 18. На панелі керування - 19 відображається потужність ГЧ випромінювання, що регулюється за допомогою перемикача потужності - 20. Корпус установки - 21 покритий ізоляцією - 22.

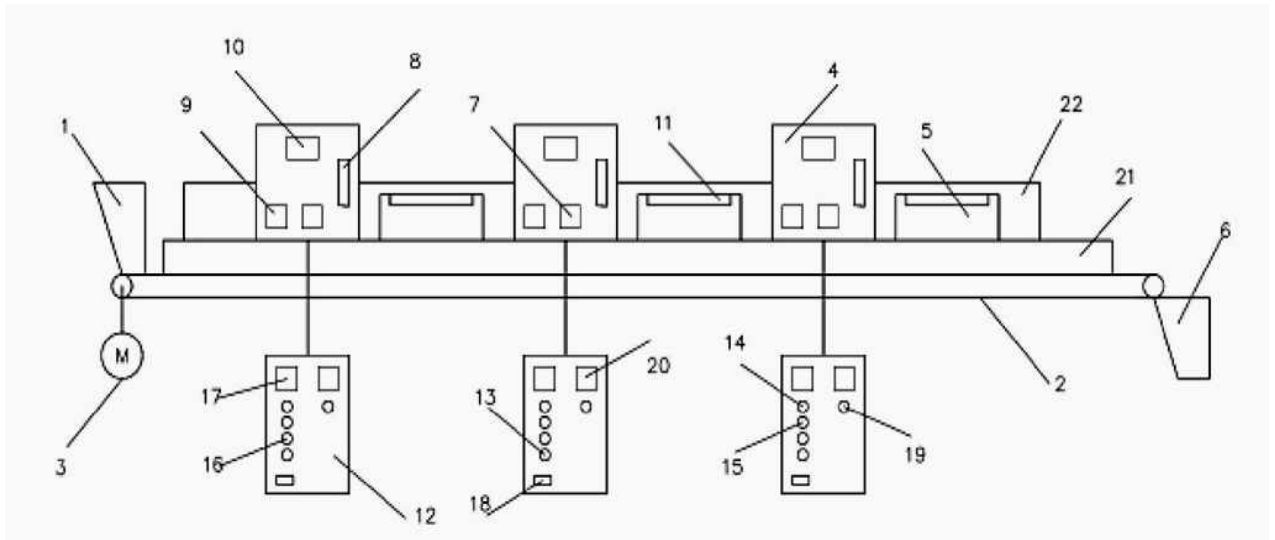


Рис. 16 - Схема мікрохвильової установки для дослідження сушіння [3].

Апаратурно-процесна схема стрічкової сушарки в електромагнітному полі (рис. 17) складається з трьох мікрохвильових та трьох інфрачервоних модулів.

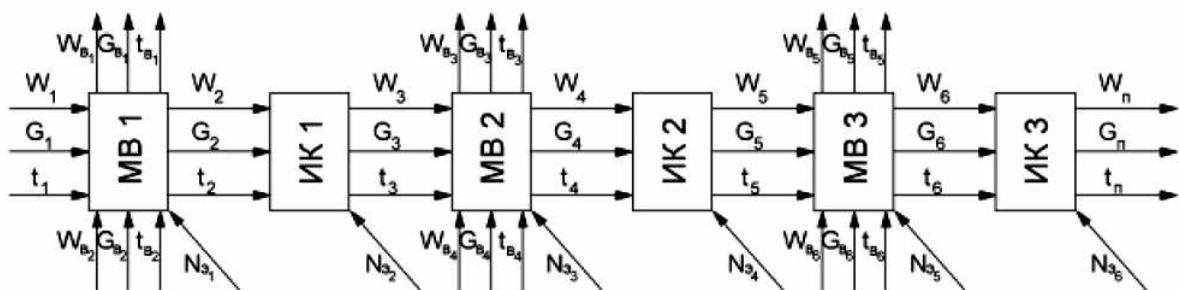


Рис. 17 - Апаратурно-процесна схема стрічкової МХ сушарки.

G_B - витрата повітря, кг/с;

W_B - вологість повітря, %;

t_B - температура повітря, ° С;

G_1 - витрата сировини, кг/с;

W_1 - вологість сировини, %;

t_1 - температура сировини, ° С;

G_n - витрата продукту, кг / с;

W_n - вологість продукту, %;

t_n - температура продукту.

Розглянемо докладніше модулі МВ1 та ІЧ1. Продукт проходить через мікрохвильовий модуль МВ1 і завдяки електромагнітному випромінюванню N_{e1} відбувається процес дипольного нагріву вологи в початковому об'ємі продукту G_1 волога в продукті W_1 випаровується з внутрішнього об'єму продукту прагнучи поверхні, при цьому прогриваючи продукт змінюючи його початкову температуру t_1 . Система вентилявання модуля МВ1 створює потік повітря G_{B1} , який видаляє випарену вологу з поверхні продукту, змінюючи початкову вологість повітря W_{B1} , при цьому, так само, прогриваючи його температуру t_{B1} .

Далі продукт проходить до модуля інфрачервоного опромінення ІЧ1, де завдяки підведенню електромагнітної енергії N_{e4} відбувається процес видалення вологи W_2 з поверхні об'єму продукту G_2 , змінюючи при цьому температуру продукту t_2 .

Апаратурно-процесна схема стрічкової сушарки дозволяє перейти до більш детального розгляду моделі процесу і параметрів, що впливають на нього, що дозволяє перейти до параметричної моделі процесу сушіння в електромагнітному полі.

Параметрична модель стрічкової сушарки в електромагнітному полі (рис. 18) включає параметри сировини, технічні параметри установки і режимні параметри підведення електромагнітної енергії, які впливають на показники питомих витрат енергії на кілограм віддаленої вологи - j , Дж/кг.вид.вол. та кінцеву вологість матеріалу W_k , %.

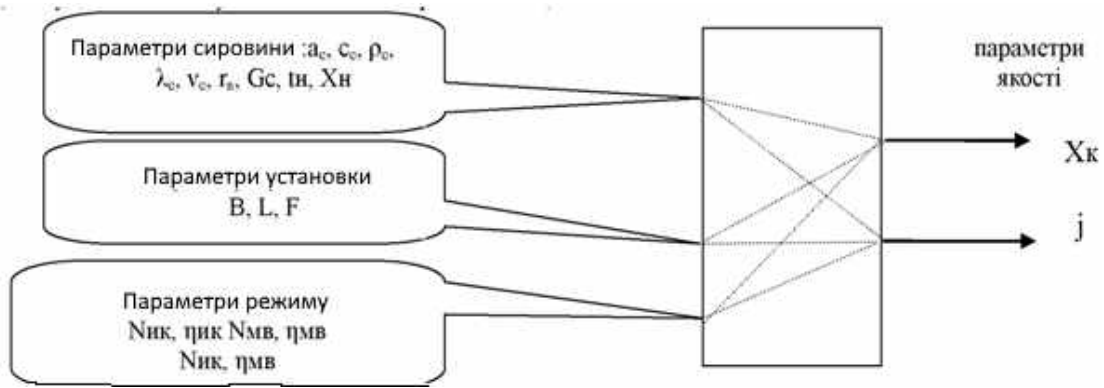


Рис. 18 - Параметрична модель стрічкової сушарки в електромагнітному полі.

На схемі: N_e - електрична енергія, B, F - площа поверхні, m^2 ; λ_c - товщина шару, m ; v_c - швидкість повітря, m/s ; v_d - швидкість стрічки m/s ; j - питомі витрати на кілограм видаленої вологи, $Dж/кг$.

Після розгляду апаратурно-процесової та параметричної схем необхідно скласти фізичну схему (рис. 19). Оскільки тепловий потік і волога, що переноситься ним, поширюються переважно по координаті z - математичне моделювання процесу переміщення вологи надалі слід розглядати як одновимірну систему.

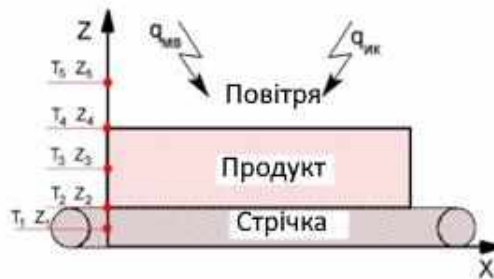


Рис. 19 – Фізична схема процесу видалення вологи у стрічковій МХ сушарці.

Розглянемо процес теплообміну щодо однієї осі (Z). Отже, рівняння, що описують процеси, що протікають, також будуть розглянуті щодо однієї осі.

У області вище Z_4 знаходиться повітряний потік, який взаємодіє з продуктом не як теплоносій, а як засіб перенесення випаруваної з вологи продукту в навколишнє середовище.

У математичному моделюванні процесу сушіння необхідно скласти основне в гідродинамічних процесах диференціальне рівняння Нав'є-Стокса,

яке, на жаль, не є вирішеним по сьогоднішній день.

У областях нижче Z4 знаходиться шар зернистого вологого матеріалу, процеси тепломасопередачі в якому протікають за ще більш складними залежностями, та визначаються цілим набором параметрів, такими як товщина шару, зернистість матеріалу, швидкість руху шару, напруженість електромагнітного поля, рівномірність щільності, вологості та температури матеріалу і інші.

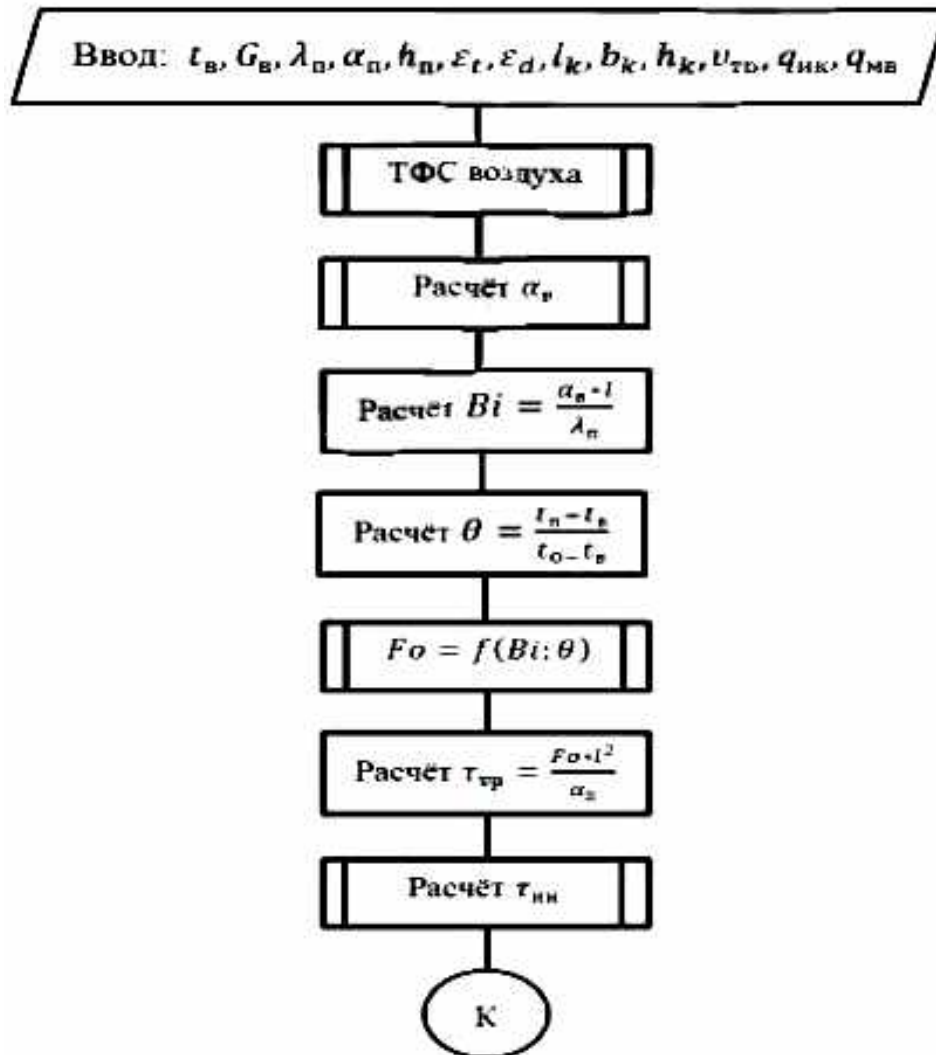


Рис. 20 – Блок схема розрахунку мікрохвильової стрічкової сушарки.

В подальшому в роботі [3] приводиться математична модель процесу сушіння вологого матеріалу в стрічковій сушарці під впливом мікрохвильового електромагнітного поля, проте складність математичного апарату на основі диференціальних рівнянь та використання спеціального програмного

забезпечення для обрахунку математичної моделі сушарки виходить за межі задач даної роботи.

Сушильні апарати з мікрохвильовим та комбінованим способом сушіння є одними з найбільш перспективних серед сушильних технологій. Основними перевагами МХ способу сушіння є: висока швидкість вологовидалення, низькі температури процесу (що є важливим для термолабільної рослинної сировини), керованість процесу, екологічна чистота та потенціально-висока енергетична ефективність процесу. Всі ці переваги обумовлені використанням мікрохвильового нагріву в якості системи енергопідведення. Щодо недоліків, можна передбачити відносно високу складність технічного оснащення сушильних МХ установок, та деякі обмеження в системі мікрохвильових генераторів. Промислові зразки магнетронів, що використовуються в якості МХ генераторів, на сьогодні мають обмежений ресурс і невисоку потужність, а для отримання суттєвої для промислового використання потужності електромагнітного поля їх доведеться використовувати у вигляді груп, що також збільшуватиме конструктивну складність промислової сушильної МХ установки.

Внаслідок складності математичного моделювання процесів мікрохвильового сушіння, основним способом дослідження є експериментальний. Для чого слід побудувати стенд який максимально відтворює умови процесу, що досліджується і відтворити на ньому декілька основних режимів процесу. Задokumentувавши результати експерименту можна перейти до створення спрощеної математичної моделі процесу і на її основі розробити варіант розрахунку основних технологічних параметрів для промислових установок, що будуть відтворювати досліджений процес в умовах виробництва.

При всіх перевагах, МХ сушіння – це нова технологія, її розвиток стримується в основному технічними факторами: високою вартістю МХ генераторів високої потужності та відносною технічною складністю МХ установок. Не менш важливим фактором є і недостатня вивченість процесів

зневоднення рослинної сировини та інших матеріалів при умові електромагнітного підводу енергії.

Висновок щодо використання математичного моделювання процесів мікрохвильового сушіння рослинної сировини полягає в тому, що для цього можна використовувати виключно авторські методики, які враховують різну кількість вхідних змінних та мають залежність в точності моделі в першу чергу внаслідок складності правильного врахування цих змінних та різноманітності самого мікрохвильового обладнання, що може використовуватись в процесі створення МХ установок.

1.7. Аналіз результатів досліджень, щодо технічно досяжних параметрів комбінованих способів сушіння

Комбіновані режими обробки рослинної сировини досліджувалися науковцями кафедри ПОЕМ для різних типів сировини - соняшник, зерно пшениці, фрукти та овочі (подрібненому стані) [4].

Перший комбінований спосіб вологовидалення включав енергопідвід за допомогою мікрохвильового випромінювання та наступний інфрачервоний нагрів поверхні частинок рухомого шару сировини.

Дослідження проводилось з наступними параметрами процесу: питоме навантаження стрічки (щільність шару продукту) складало близько 4 кг/м^2 , швидкість стрічки задавалась в межах $v=0,025-0,07 \text{ м/с}$, загальна електрична потужність (магнетрона та і/ч випромінювачів) встановлювалась в межах $N = 30-40 \text{ кВт/м}^2$, і обмежувалась з метою недопущення перегріву матеріалу.

Результати дослідження: зменшення вологості для зерен соняшника з 20 до 5 відсотків, при використанні комбінованого енергопідводу, проходить на протязі 40 хв., для такої технологічної обробки має бути достатньо стрічкової сушарки з 15 зонами обробки. При цьому максимальна температура продукту буде значно меншою від максимально допустимої, в ході дослідження вона не перевищувала 42 C° . Комбінований вплив дозволяє отримати показники

вологовидалення в межах 1 %/хв.

Характеристики дослідної установки, що використовувалась в дослідженнях: кількість комбінованих (МХ+ІЧ) сушильних модулів: 3 шт.; частота МХ генераторів 2450 ± 50 МHz; потужність МХ: $\leq 2,4$ кВт; потужність ІЧ: $\leq 3,6$ кВт; швидкість стрічки конвеєра: 0-0,3 м/хв.; продуктивність: 3-10 кг/год.; габарити (д/ш/в): 3000x600x1200 мм., тривалість обробки матеріалу залежить від швидкості конвеєрної стрічки.

Науковці кафедри ПОЕМ досліджували поєднання зон сушіння з генераторами мікрохвильового поля та зон сушіння з інфрачервоними випромінювачами для соняшнику, зерна пшениці, фруктів та овочів.

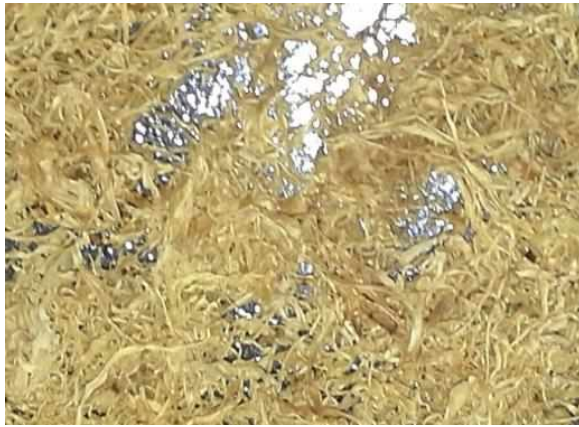
Експериментальна частина досліджень [4] включала комплекс тестових сушінь рослинної сировини та напівфабрикатів у вигляді попередньо оброблених (підготовлених та нарізаних) плодів і овочів з наступною оцінкою їх якісних показників. Для більшості зразків результати показали високу якість готового продукту, висушені продукти мають значно краще збережені кольорову палітру, смак та текстуру порівняно з конвективним сушінням. На рис. 26 показано загальний вигляд висушеної продукції.



а. Буряк червоний



б. Редька



в. Капуста



г. Кабак

Рис. 26. Фото висушених продуктів при МХ + ІЧ сушінні.

Визначення залежностей, щодо процесу мікрохвильового сушіння проводилося з використанням спеціально підібраних типів сировини. Найбільш доцільною є мікрохвильова сушка матеріалів зі складною внутрішньою структурою, з якою конвективна сушка не може ефективно впоратися.

Для підтвердження цієї теорії в роботі [4] наведено результати експериментів із сушіння насіння соняшнику, під час яких постійно контролювалась температура насінневого шару та його вологість в ході процесу обробки.

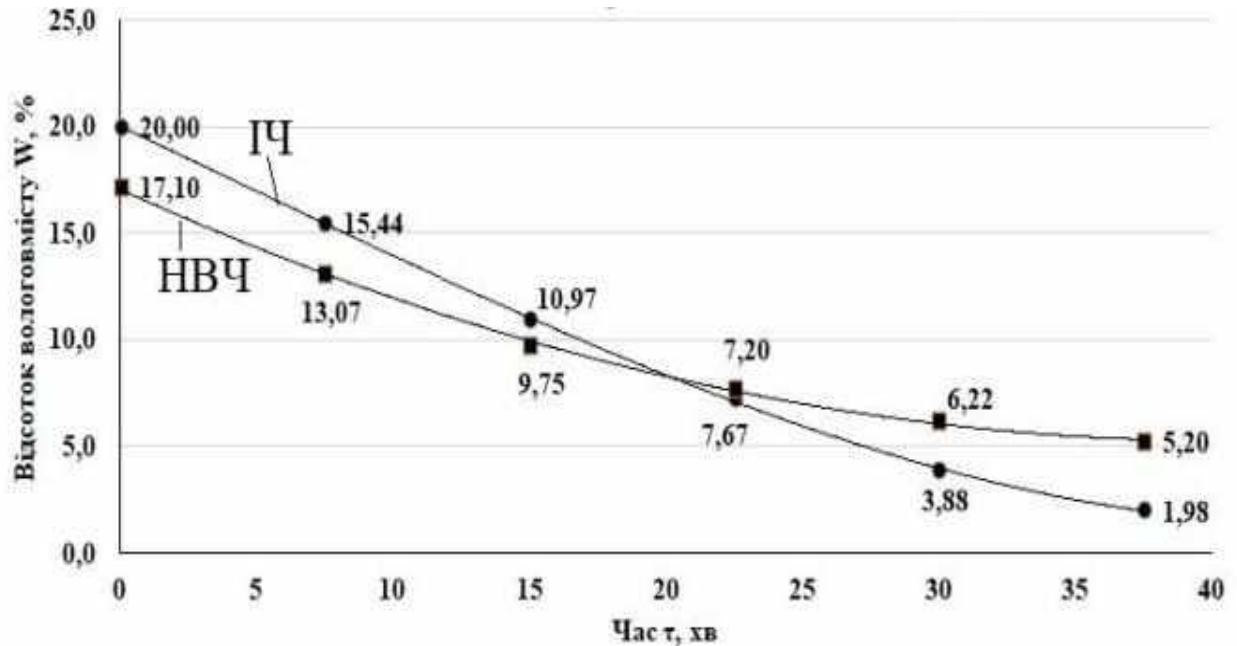
У рамках виконаної науково-дослідної програми проведено експериментальне моделювання процесу видалення вологи з потоку сировини при кількох значеннях навантаження сушарки (змінюючи товщини шару) та продуктивності (змінюючи швидкості стрічки сушарки), при кількох значеннях напруженості електромагнітного поля та напруженості інфрачервоного випромінювання. Після систематизації результатів проведеного дослідження **встановлено наступні залежності.**

Роздільний вплив інфрачервоного випромінювання (ІЧ) та надвисокочастотного (НВЧ) електромагнітного поля. Вихідні параметри процесу: сировина = соняшник, навантаження $m=3.96$ кг/м², $N(ІЧ)=27.51$ кВт/м², $N(НВЧ)=45$ кВт/м², режим роботи = 3 модулі * 5 проходів. Графіки залежностей надано на рис. 27.

Комбінований (послідовний) вплив НВЧ поля та ІЧ випромінювання.

Вихідні параметри процесу: сировина = соняшник, навантаження $m=3.96$ кг/м², $N(ІЧ+НВЧ)=30-41$ кВт/м², швидкість стрічки $v=0,025$ м/с, режим роботи = обробка протягом 60 хв. Графіки залежностей надано на рис. 28.

Лінії сушіння



Кінетика процесу сушіння

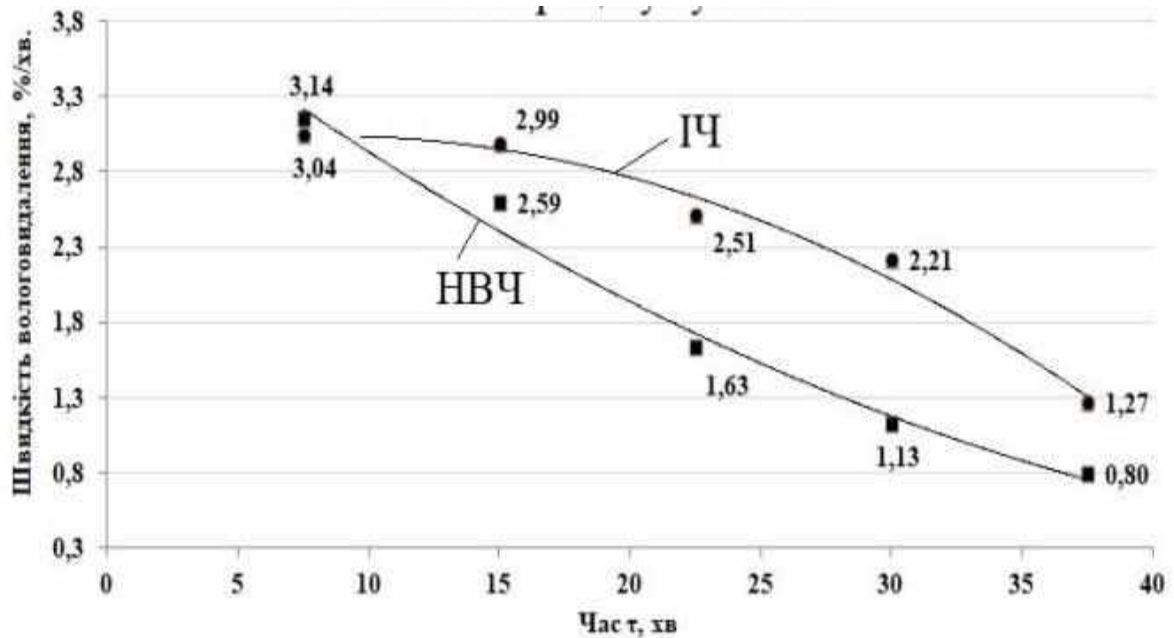
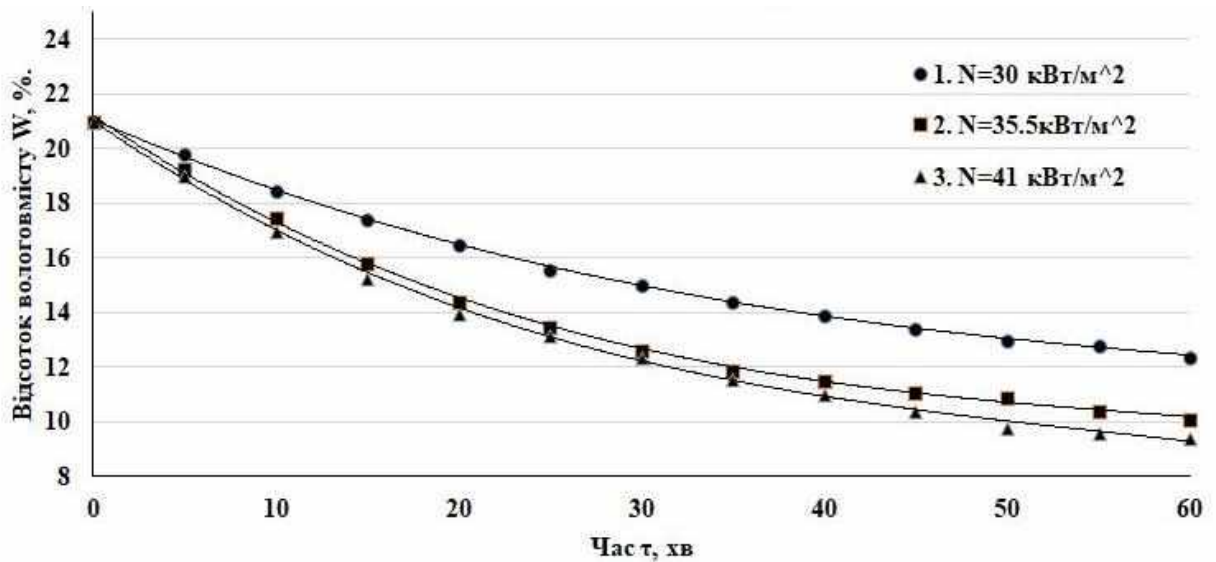


Рис. 27. Роздільний вплив ІЧ та НВЧ.

Залежності виявлені при комбінованому сушінні: вплив НВЧ+ІЧ

Лінії сушіння



Кінетика процесу сушіння

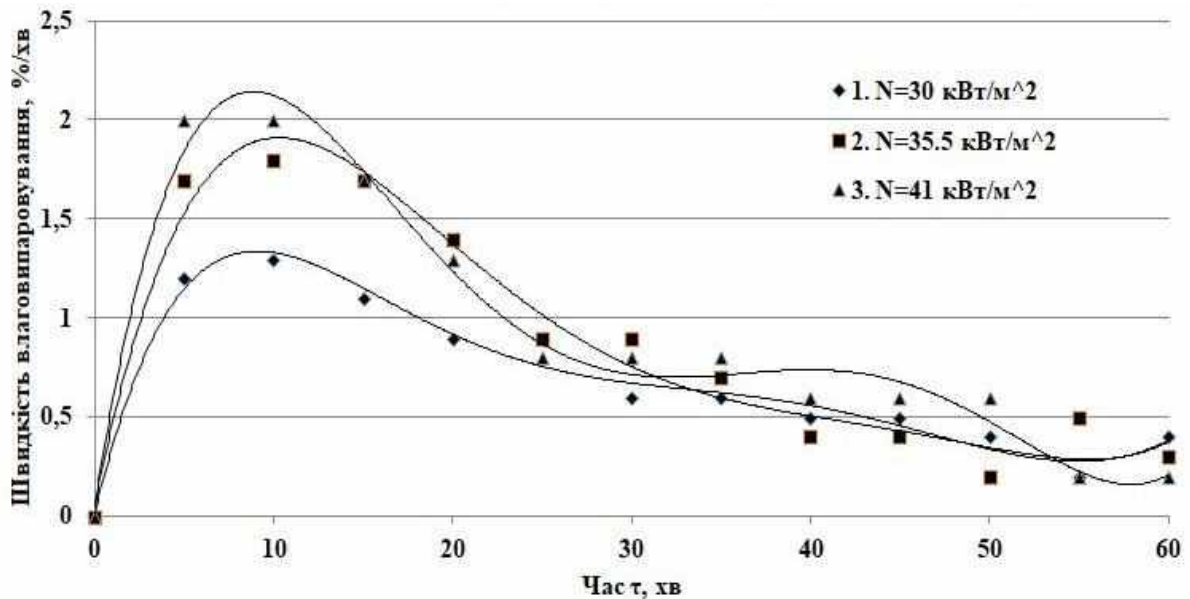


Рис. 28. Комбінований вплив ІЧ + НВЧ.

Проміжні висновки показують, що технологію мікрохвильового (МХ/НВЧ) сушіння цілком реально використовувати в процесі переробки рослинної сировини. У результаті експериментального моделювання процесів комбінованого сушіння вологість соняшнику за 30 хвилин знижено з 20% до 5%. Для реалізації такого технологічного процесу буде достатньо стрічкової сушарки з 15 зонами обробки. Максимальна температура соняшника при МХ

сушінні значно нижча від максимально допустимої, в ході експериментального моделювання процесу вона не перевищувала 42 °С. Швидкість видалення вологи в ході експериментального МХ сушіння становить 1 – 3 %/хв.

Другий комбінований спосіб, що полягає в поєднанні мікрохвильового нагріву з продувкою продукту потоком атмосферного повітря як в конвективному сушінні але без функції нагрівання. Внаслідок МХ нагрівання волога ефективно виводиться до поверхневих шарів частинок вологого матеріалу а за допомогою повітряного потоку ефективно випаровується з поверхні частинок, в чому і полягає особливість такого комбінованого процесу видалення вологи. Конвективний вологобмін дозволяє в процесі сушіння уникнути перегріву продукту, а мікрохвильовий нагрів дозволяє використовувати повітряний потік як транспортний механізм для відведення вологи.

Порівняльний графік залежності зміни вологовмісту W від часу процесу для різних комбінованих способів сушіння надано на рис. 29.

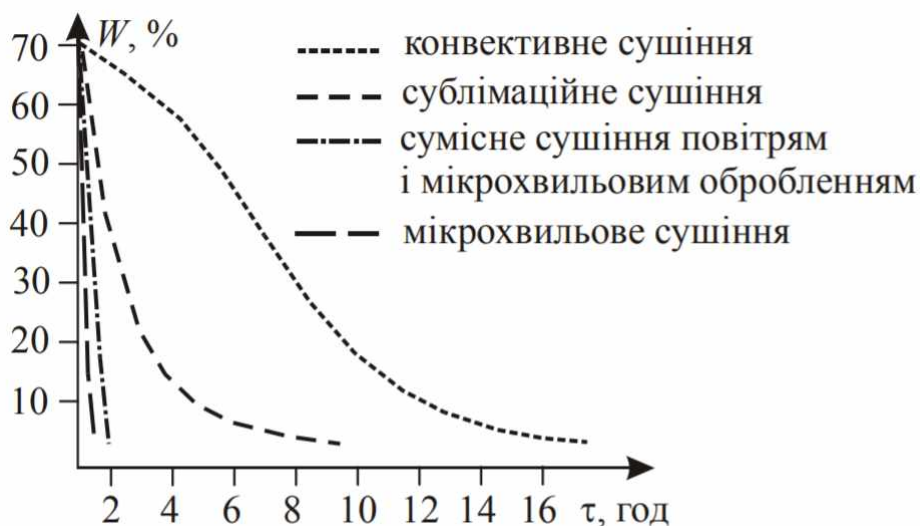


Рис. 29. Графіки типових ліній сушіння в порівнянні між конвективним та сублімаційним способами сушіння та їх комбінаціями.

Порівняно з традиційним конвективним сушінням комбіноване має значно вищу складність реалізації, вищі затрати як капітальні так і експлуатаційні, проте має більшу продуктивність та вищу якість продукції.

Енергетично, комбінований спосіб можна розглядати як варіант основного енергопідводу за рахунок МХ нагрівання, коли продувка повітрям виступає як технологія підсилення процесу вологовидалення (випаровування), або як варіант періоду досушування після традиційного конвективного сушіння, коли МХ нагрів виконує роль прискорювача виведення вологи з внутрішніх глибоких шарів на тій ділянці процесу коли конвективний нагрів вже малоефективний. Як третій доцільний для реалізації режим комбінованого сушіння можна розглядати при використанні мікрохвильового поля для розігріву вологого матеріалу перед конвективним сушінням. Проведені у Національному університеті харчових технологій дослідження [13] з визначення кінетики сушіння яблук, слив і моркви підтвердили доцільність комбінування таких способів вологовідведення (рис. 30).

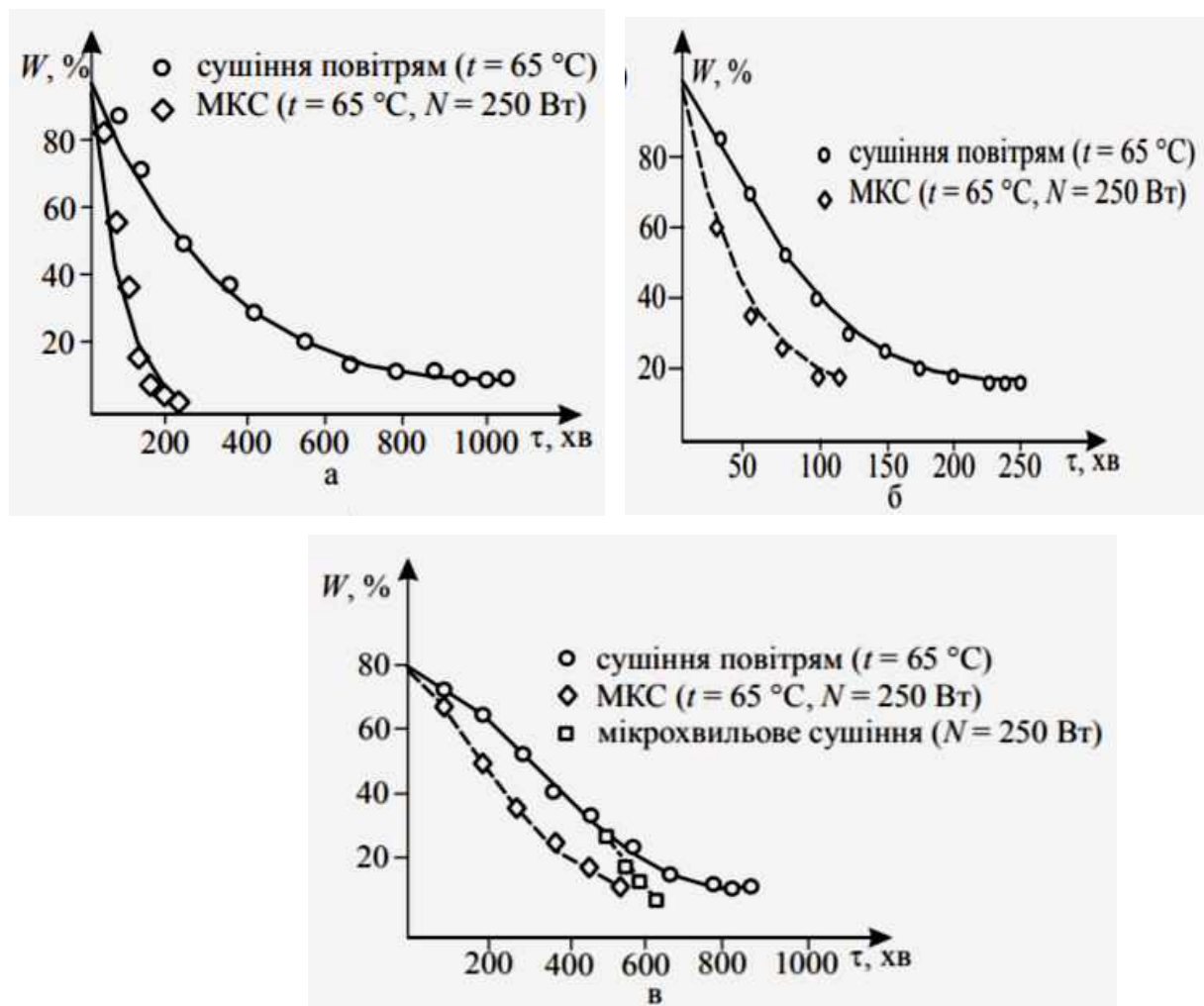


Рис. 30. Графік залежності зміни вологовмісту W під час сушіння

мікрохвильовим і конвективним способами у різних комбінаціях: а — яблук; б — моркви; в — слив.

Особливістю такого комбінованого способу є висока швидкість видалення вологи з поверхневих шарів частинок вологого продукту, та висока продуктивність такого комбінованого способу сушіння в цілому.

Ефективність даного комбінованого способу сушіння полягає в тому, що під впливом МХ поля в кожній з частинок вологого матеріалу виникають градієнти температури, тиску та вологовмісту, створюючи відповідні рушійні сили для переміщення вологи між шарами частинки в напрямі від центру до поверхні. Такий стан процесу характеризується появою значної кількості вологи на поверхні частинок матеріалу.

Швидкість вологовидалення з поверхні частинок обумовлюється параметрами повітряного середовища навколо вологого матеріалу і умовами циркуляції повітряного потоку в міжзерновому просторі шару. В разі використання комбінованого сушіння з МХ та ІЧ енергопідведенням відвід вологи з поверхні частинок дещо покращується за рахунок впливу ІЧ випромінювання, проте при недостатній швидкості транспортуючого повітряного потоку виникає проблема відведення вологи від поверхні.

Для ефективного вологовідведення слід продувати шар матеріалу потоком повітря з швидкістю 6-8 м/с, відповідно до режимів фільтраційного сушіння. Схему організації такого потоку для комбінованого вологовідведення приведено на рис. 31.

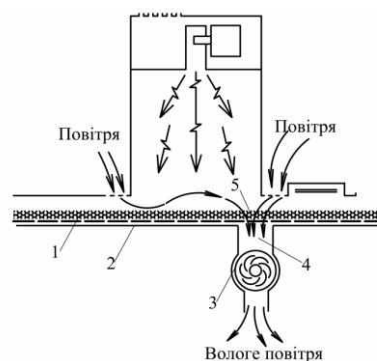


Рис.31. Схема процесу комбінованого вологовідведення.

При такому процесі вологовідведення можна забезпечити високу швидкість відведення вільної вологи, що утворилась на поверхні частинок при інтенсивному МХ нагріванні та покращення енергоефективності процесу сушіння внаслідок того, що частина вологи матеріалу буде відводитися в атмосферу у вигляді капель рідини, тобто без випаровування.

1.8. Енергетика процесу вологовидалення при комбінованому способі сушіння

Переваги нагрівання вологих матеріалів в електромагнітному полі добре реалізуються при обробці матеріалів з капілярною структурою. Помітним обмеженням МХ нагрівання є відносна складність впровадження сушильної установки та неефективне перетворення електричної енергії в електромагнітні поля НВЧ. Технічні та юридичні обмеження призвели до появи найпоширеніших і найдешевших НВЧ генераторів поля (магнетронів), які генерують коливання на частоті 2400 МГц і споживають потужність в межах 1 кВт. Тому прилади на основі таких магнетронів називають мікрохвильовими (МХ).

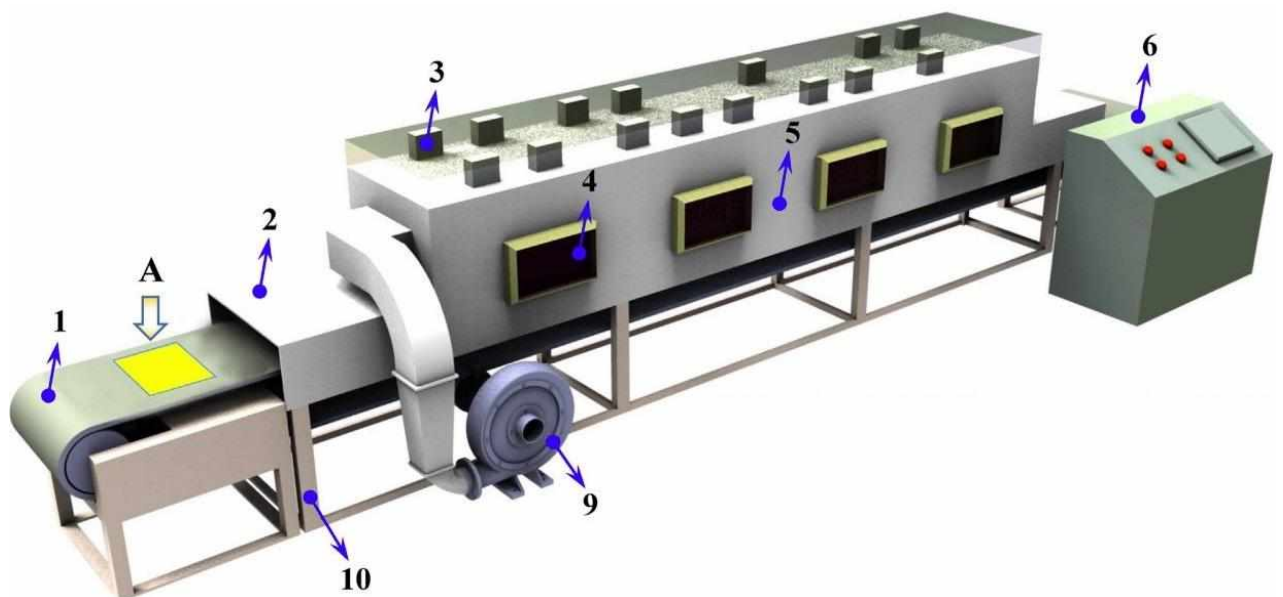


Рис. 32. Конструкція стрічкового сушильного МХ апарату. 1 – стрічковий конвеєр; 2 – захисний тунель (МХ шлюз); 3 – магнетрони (МХ – випромінювачі); 4 – оглядове вікно; 5 – сушильна камера; 6 – пульт керування; 9

– вентилятор аспірації; 10 – основа (рама) апарату.

Сушильні агрегати МН унікальні тим, що вони безпосередньо впливають на вологу, що міститься в матеріалі, і при нагріванні самого матеріалу втрата енергії невелика. Такий спосіб енергопостачання є дуже ефективним і дозволяє швидко (безінерційно) контролювати процес нагріву. Переваги та обмеження цього методу сушіння окремо розглянуто в роботах [2,4].

Робота типового мікрохвильового апарату показана на рисунку 32, вона полягає в концентрованому нагріванні тонкого шару сировини, що транспортується конвеєрною стрічкою через сушильну камеру, за допомогою мікрохвильового випромінювання створюваного спеціальним пристроєм – магнетроном. Завдяки радіаційному МХ нагріванню волога в частинках сировини (зернах) швидко досягає поверхні, випаровується в повітря камери і виноситься в атмосферу повітряним потоком, який створює вентилятор в сушильній камері.

1.9. Висновки щодо реалізації процесу сушіння комбінованим способом

При розробці конструкції сушильної установки для зневоднення рослинної сировини в середовищі мікрохвильового електромагнітного поля промислового призначення слід виходити з наступних умов:

- як генератори мікрохвильового випромінювання слід використовувати магнетрони, що споживають електричну потужність в межах 1-1,5 кВт;
- конструкція сушарки повинна включати комплект незалежних сушильних камер;
- від тунелю, що з'єднує сушильні камери, можна відмовитись, при номінальному завантаженні сушильної камери шаром вологої сировини взаємний вплив магнетронів у суміжних камерах буде незначним;
- розміщення блоків живлення (магнетронів, силових трансформаторів тощо) слід зробити зовнішнім і легкоз'ємним, що полегшить технічне

обслуговування, оскільки генератори, що вийшли з ладу, потребуватимуть періодичної заміни;

- слід об'єднати систему повітряного охолодження магнетронів з системою продування шару продукту потоком повітря, щоб краще використовувати споживану установкою енергію;

- вхідний і вихідний тунелі сушарки мають бути захищені від витоків мікрохвильової енергії за допомогою наповнених водою радіопрозорих контейнерів, встановлених на виходах тунелів;

- конструкція сушильної камери повинна передбачати можливість обслуговування внутрішнього об'єму сушильної камери за допомогою технічного вікна, виконаного за подібністю дверцят мікрохвильової печі, у конструкції камери рекомендується використовувати тільки зварні з'єднання, щоб уникнути витoku мікрохвильової енергії;

- у зв'язку з необхідністю реалізації в сушарці складних алгоритмів увімкнення магнетронів та приводів конвеєрів сушильної камери, систему управління слід реалізовувати на основі програмованого технологічного контролера з можливістю запуску заздалегідь розроблених технологічних режимів та ручного налаштування алгоритм роботи.

Принцип дії та будова експериментальної стрічкової багатокамерної мікрохвильової сушарки для сипучих матеріалів з комбінованим способом вологовідведення побудованої на кафедрі ПОЕМ показано на рис. 33. Сушарка складається з: бункера для вологого матеріалу 1, з дозуючим пристроєм 2, стрічкового конвеєра 4, для транспортування шару матеріалу 3 через зони сушки, вхідного 5 і вихідного 12 шлюзових тунелів. Основою установки є камери мікрохвильового сушіння матеріалу 6, 10 і 11, кожна з яких обладнана магнетроном (генератором мікрохвильового випромінювання) 7 і вентилятором 8. Камери з'єднані між собою шлюзовими тунелями 9. Також сушарка має бункер для обробленого матеріалу 13 та систему управління потужністю магнетронів сушильних камер 17.

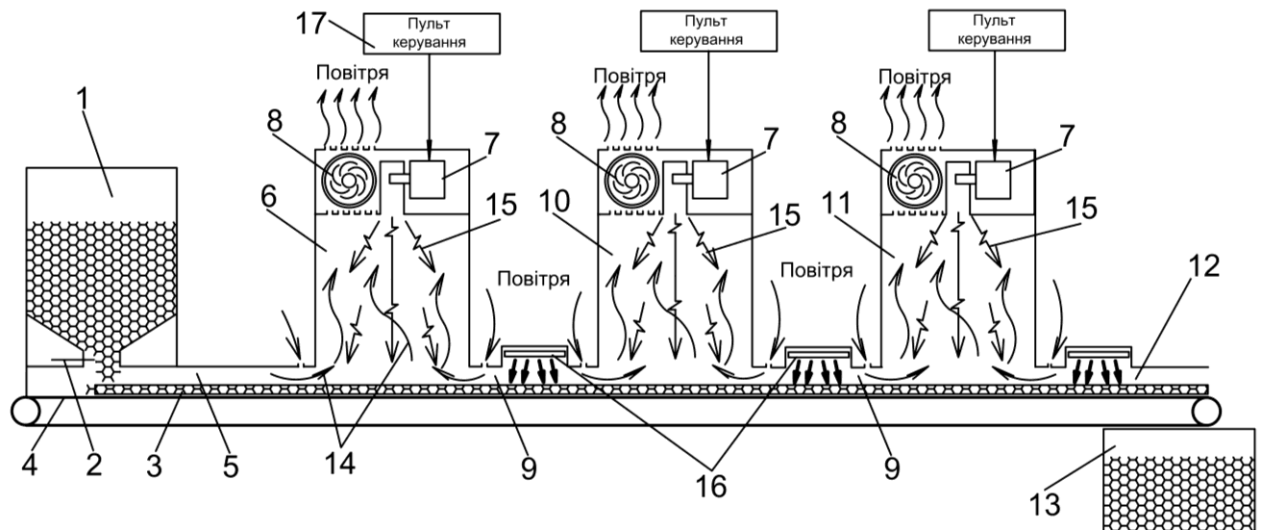


Рис. 33. Структурна схема мікрохвильової сушарки: 1 - бункер для вологого матеріалу, 2 - дозуючий пристрій; 3 - шар вологого матеріалу; 4 - стрічковий конвеєр; 5 - вхідний тунель; 6 - перша мікрохвильова (МХ) камера; 7 - магнетрон (генератор мікрохвильового випромінювання); 8 - вентилятор; 9 - шлюзовий тунель; 10 - друга МХ камера; 11 - третя МХ камера; 12 - вихідний шлюзовий тунель; 13 - бункер для обробленого матеріалу; 14 - напрями потоків повітря; 15 - МХ випромінювання; 16 - інфрачервоні (ІЧ) випромінювачі; 17 - система управління потужністю магнетронів сушильних камер.

II. ТЕХНІЧНИЙ ПРОЕКТ МІКРОХВИЛЬОВОЇ СТРІЧКОВОЇ СУШИЛЬНОЇ УСТАНОВКИ З КОМБІНОВАНИМ СПОСОБОМ ВОЛОГОВИДАЛЕННЯ

Завданням на проектування є розробка технічного проекту мікрохвильового сушильного апарату з комбінованим способом відведення вологи. Першою задачею проекту є розрахунок параметрів транспортного механізму для сипкої сировини у вигляді стрічкового конвеєра, по можливості типової конструкції, з використанням загальнопромислових (серійних та вільно доступних) вузлів та модулів.

Вихідними даними для розрахунків є параметри потоку вологої сировини яка може оброблятися в потоці мікрохвильовими сушильними камерами. В якості можливої сировини для сушіння в апараті розглядаються зернові та бобові культури з розміщенням на стрічці тонким шаром близько 20 мм. висотою та питомим навантаженням на стрічку до $4,0 \text{ кг/м}^2$.

Ширина стрічки визначається габаритами камер нагріву і складає 50 см.

Довжина сушарки може варіюватись в широких межах, так як залежить від способу використання апарату і кількості сушильних камер (яка може змінюватись). В якості типового варіанту обрано багатоканерну сушарку з загальною довжиною стрічкового конвеєра 8000 мм.

Продуктивність такої сушарки залежить від вхідних параметрів вологої сировини і може змінюватись в залежності від бажаної кількості видаленої вологи. Орієнтовна продуктивність яку має забезпечувати сушарці стрічковий конвеєр – 75-100 кг/год. (для зернової сировини). Продуктивність може гнучко регулюватись шляхом зменшення швидкості руху стрічки через зони сушіння.

Додатковою умовою є використання синтетичної (радіо-прозорої) стрічки конвеєра, яка не нагріватиметься в зоні дії мікрохвиль а також не деформуватиметься від теплового впливу нагрітої сировини, що піддається сушінню.

2.1. Розробка основних конструктивних вузлів сушильної установки

При розробці конструкції сушильної установки для зневоднення рослинної сировини в середовищі мікрохвильового електромагнітного поля промислового призначення слід виходити з наступних умов:

- як генератори мікрохвильового випромінювання слід використовувати широко поширені магнетрони, що споживається електричною потужністю в 1-1,5 кВт;

- конструкція сушарки повинна складатися із набору окремих сушильних камер. Можлива відмова від тунелів, що з'єднують сушильні камери, при номінальному завантаженні камер шаром вологої сировини взаємний вплив магнетронів сусідніх камер один на одного буде незначним;

- розміщення силових блоків (магнетрон, трансформатор живлення тощо) має бути зручним для обслуговування у зв'язку з необхідністю періодичної заміни випромінювачів, що вийшли з ладу;

- систему продувки шару продукту для реалізації комбінованого способу вологовидалення доцільно інтегрувати з системою охолодження магнетронів, для більш повного використання енергії спожитої установкою;

- вхідний та вихідний тунелі сушарки слід убезпечити від витоків мікрохвильової енергії водяними навантаженнями, що становлять радіопрозорі ємності з водою, встановлення в місцях закінчення тунелів;

- конструкція сушильних камер має передбачати можливість обслуговування внутрішньої ємності камери за допомогою технологічного вікна по конструкції аналогічного дверям мікрохвильових печей. У конструкції камер доцільно використовувати тільки зварні з'єднання, щоб уникнути витоків мікрохвильової енергії;

- у зв'язку з необхідністю реалізації у сушарці складних алгоритмів включення магнетронів сушильних камер та приводу конвеєра, систему управління слід реалізувати на основі програмованого технологічного контролера з можливістю як запуску заздалегідь розроблених технологічних режимів, так і ручного настроювання алгоритму роботи.

Основою мікрохвильової сушильної установки є окремий сушильний модуль (сушильна камера), ескізний проект конструкції такого модуля представлений на рис. 34. Модуль складається з прямокутної сушильної камери, габарити якої відповідають моделі використання установки, наприклад (г/ш/в): 570х520х580.

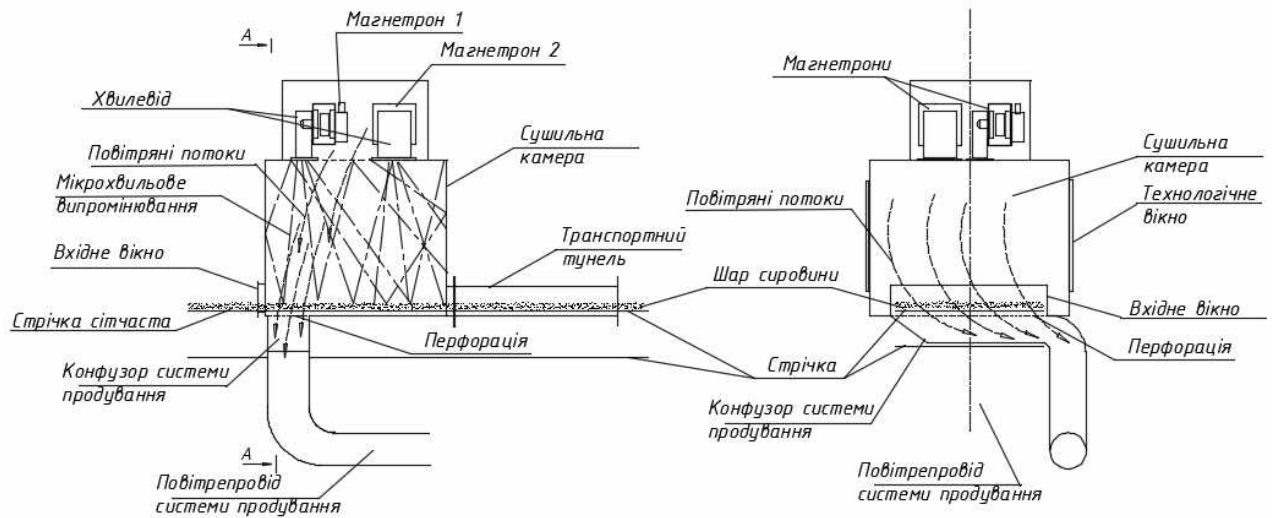


Рис. 34. Загальний вигляд сушильного модуля

З обох боків камери вбудовані технологічні вікна з фланцями для з'єднання камери з тунелем або іншою камерою. Збільшення висоти тунелю погіршить спільну роботу магнетронів камер, але надасть можливість обробляти габаритніші за тонкий шар сипучої сировини матеріали, наприклад - стерилізувати упаковані продукти. Мінімальна висота вікна повинна становити 30 ... 40 мм, максимальна ~ 300 мм. Внутрішній простір камери повинен бути рівною, плоскою, гладкою поверхнею, незабарвленою, матеріал камери – нержавіюча сталь.

У верхній частині камери знаходиться вихід хвилеводів магнетронів (можливе використання як одного так і більшої кількості магнетронів) спрямованих вертикально вниз, на стрічку конвеєра, по центру камери.

У нижній частині в днищі камери, шляхом перфорації отворами діаметром 2-3 мм розміщено вентиляційне вікно для продувки шару продукту, до якого приєднується вхідний дифузор витяжної аспіраційної системи

установки.

Конвеєрна стрічка, що використовуватиметься в установці має бути перфорованою, а для зменшення аеродинамічного опору потоку продукту краще сітчатою, з отворами розміром до 2-3 мм.

Для використання тепла, що генерується в процесі роботи магнетронами, слід передбачити з'єднання (перфороване вікно) між мікрохвильовим блоком камери з та внутрішнім об'ємом камери. Охолодження магнетрона здійснюватиметься як його вентилятором так і потоком повітря, що втягується в камеру системою продувки.

Схема управління сушильним модулем повинна передбачати прийом сигналів «пуск», «стоп», сигналів управління роботою магнетрона та формування сигналів від датчиків наявності продукту та датчика температури шару на виході камери.

Конструкція мікрохвильової сушильної установки, що складається з десяти модулів (сушильних камер) представлена на рис. 35.

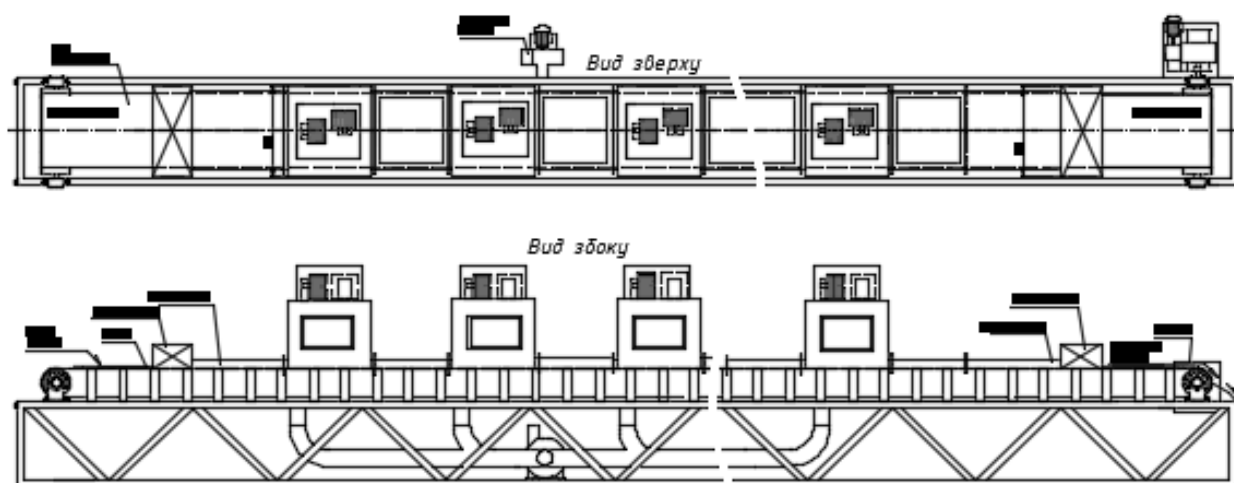


Рис. 35. Проект багатокамерної стрічкової МХ сушарки.

Система управління сушильною установкою може реалізовуватися у вигляді програмно – апаратного комплексу на основі програмованого логічного керування режимами роботи магнетронів сушильних камер, вентилятора продувки та конвеєра. Програма керування апаратом має

передбачати гнучку конфігурацію апаратної частини установки (кількість зон, кількість магнетронів, швидкість стрічки і конфігуруватися під тип технологічних завдань, що вирішуються установкою – від сушіння різної сировини з різною інтенсивністю до стерилізації мікробіологічної складової продукту (це два типові режими роботи МХ установок).

Табл.3. Параметри МХ сушарки

№	Параметр, розмірність	Значення
1	Споживаєма електрична потужність, кВт	11,0
2	Продуктивність сушіння, кг/год	75÷100
3	Продуктивність при стерилізації, кг/год	> 300
4	Зниження вологості (по зерну), %	12÷15
5	Швидкість стрічки, м/хв.	0÷3 (регул.)
6	Висота вхідного вікна, мм	40
7	Габарити В/Ш/Г, мм	2000/500/8000

2.2. Розрахунок стрічкового конвеєра сушильної установки

Як визначено в попередньому розділі, основою мікрохвильової сушильної установки є стрічковий конвеєр. У харчовій промисловості конвеєри застосовуються не тільки як транспортний засіб для автоматизування виробничих комплексів внутрішньоцехового та міжцехового виробництва, але й для забезпечення самих технологічних процесів. Основним елементом конвеєрів є транспортерна стрічка. Останнім часом розроблені абсолютно нові види стрічок із синтетичних матеріалів із єдиним каркасом. У харчовій промисловості широко використовують пластмасові модульні стрічки, сітчасті стрічки нового типу. Сучасні матеріали та конструкції стрічок дозволили більшою мірою відповідати експлуатаційним вимогам за рахунок захоплення, шевронів, гофробортів, спеціальних покриттів та інших розробок.

Стрічковий конвеєр - транспортуючий пристрій безперервної дії.

Стрічкові конвеєри є найпоширенішим типом машин конвеєрного транспорту. Практично у всіх галузях промисловості використовуються стрічкові конвеєри, які забезпечують безперервність процесів транспортування різних видів вантажів та матеріалів.

Перевага стрічкових конвеєрів перед іншими способами транспортування полягає в тому, що завдяки значній швидкості руху стрічки забезпечується висока ефективність та продуктивність технологічних процесів, у малому споживанні енергії, простоті, надійності та довговічності конструкції пристрою.

Транспортуючі машини відрізняються високою надійністю, зручністю експлуатації та обслуговування, мають велику довжину транспортування, працюють в автоматичному режимі в комплексі з технологічним обладнанням, забезпечують високу продуктивність завдяки безперервності процесу транспортування. Одночасно з транспортуванням вантажів на стрічкових конвеєрах можуть виконуватись технологічні операції. Стрічковий конвеєр часто є однією з частин транспортуючого пристрою машини або системи.

Конвеєри та конвеєрні системи для харчової галузі є надійним технічним обладнанням, яке підвищує ефективність виробництва. За багаторічний досвід експлуатації машин безперервного транспортування вирішено завдання різної складності: від проектування конвеєрів до розробки повноцінних комплексних системних рішень.

2.2.1. Вибір конструкції стрічкового конвеєра установки

Конвеєр та елементи, що входять до його конструкції, представлені на рис.. Безперервний рух вантажу здійснюється за допомогою нескінченної транспортерної стрічки 1.

Стрічка, як правило, приводиться в рух приводним барабаном 2 на одному кінці і проходить навколо барабана 7, що вільно обертається, на іншому кінці, який часто буває натяжним, так як встановлюється в натяжний пристрій 8

і представляє загальну конструкцію.

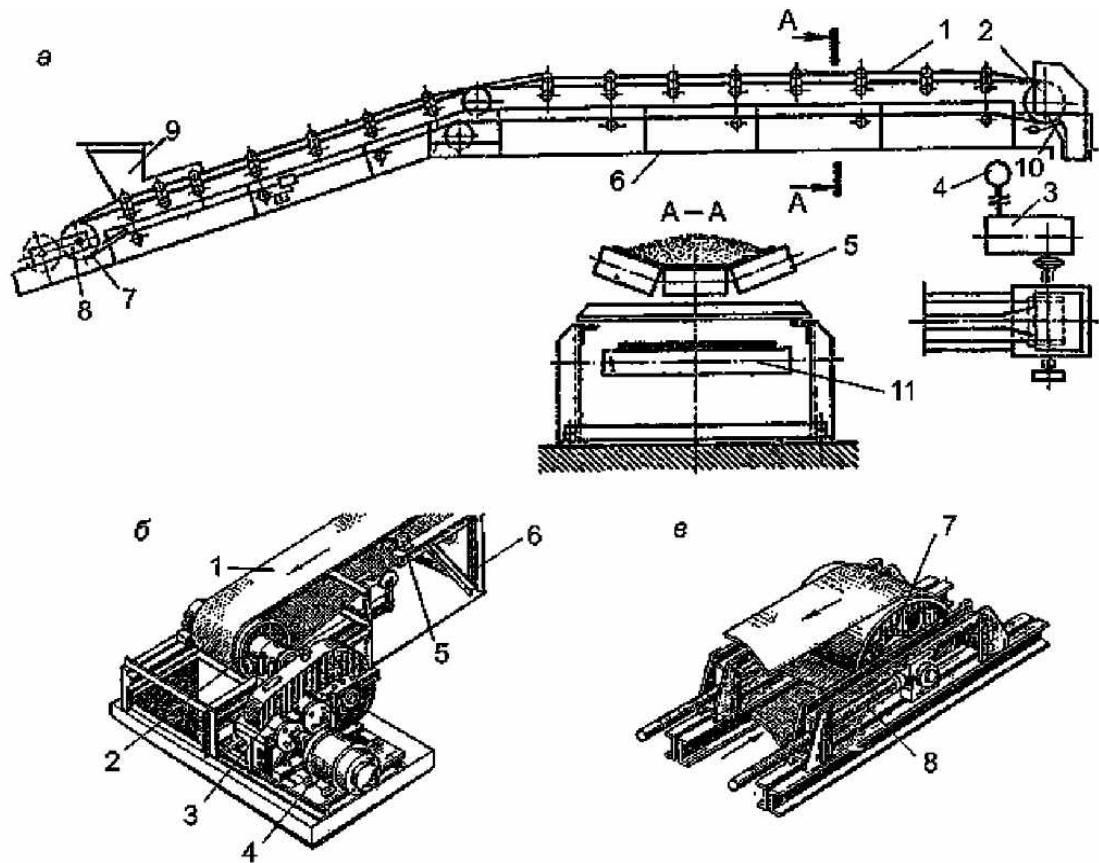


Рис. 36. Конструкція стрічкового конвеєра

На схемі показаний варіант натяжного окремого пристрою. Залежно від призначення конвеєра в конструкції передбачаються барабани, що відхиляють, або ролики з метою зміни кута нахилу траси, збільшення тягової здатності і натягу стрічки. Зовнішня поверхня стрічки може підтримуватися за допомогою роликів 5, що вільно обертаються, або відповідного настилу.

Стрічкові безроликові конвеєри марки ТБ (рис. 37) застосовуються для переміщення насипного або штучного вантажу по горизонталі або під кутом трохи більше 15° . Робоча гілка стрічки, що несе на собі вантаж по всій довжині, спирається на суцільний металевий настил або шини, холоста гілка - на напівкруглі ребра або суцільний настил.



Рис. 37. Загальний вид без роликового конвеєра ТБ.

Рух на привідний барабан передається від приводу, який складається з редуктора та електродвигуна з'єднаних муфтами. Всі вузли, у тому числі завантажувальний і розвантажувальний очищаються, та мають направляючі елементи. Пристрої закріплюються на зварній рамі, конвеєр може бути призначений для горизонтального або похилого переміщення сипучого матеріалу, шматкових або штучних вантажів.

Стрічкові конвеєри розрізняються за типами в залежності від виду траси, що транспортується: горизонтальні, похилі, крутонахильні, з змінним кутом нахилу, горизонтально-похилі, похило горизонтальні, Г, L, Z, U - подібні.

Горизонтальний стрічковий конвеєр є одним із найпоширеніших видів транспортерів, які мають широку сферу застосування. Вони використовуються як у промисловому виробництві, так і на базах та складах. Залежно від конкретного місця застосування, вони можуть мати будь-яку довжину.

Часто стрічкові конвеєри мають бічні загородження, що утворюють борти певної висоти (рис. 38).

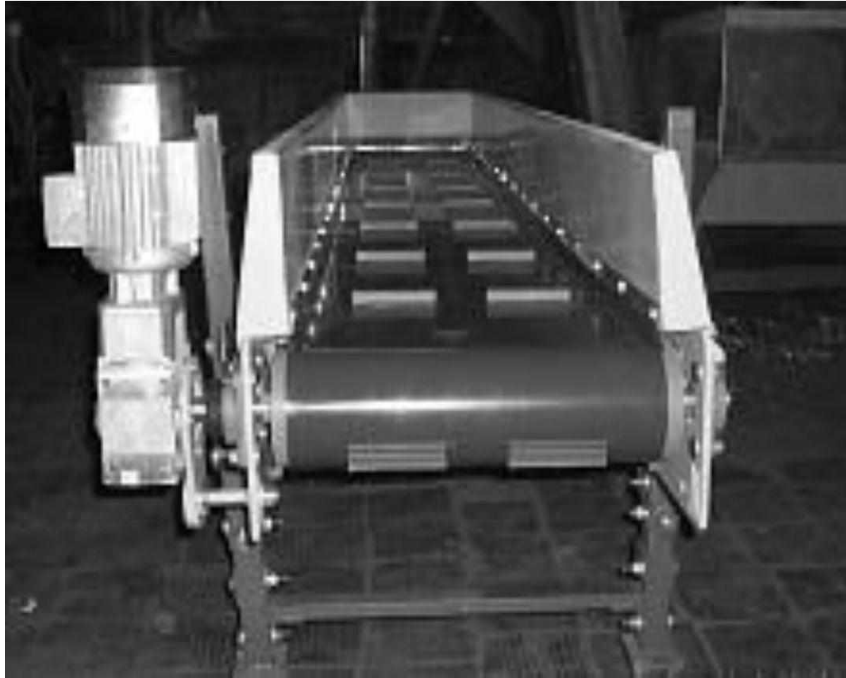


Рис. 38. Стрічковий конвеєр з бортами

Конвеєри з модульною стрічкою (Рис. 39) забезпечують поворот у будь-якому напрямку на будь-який кут до 180 градусів. Переваги конвеєрів із модульною стрічкою:

- 1) високий рівень зносостійкості, отже, великий експлуатаційний ресурс;
- 2) стійкість до впливу кислот, жирів та маслянистих субстанцій; легка заміна окремих модулів, що суттєво знижує витрати на ремонт;
- 3) обладнання придатне для експлуатації у найважчих умовах.



Рис. 39. Конвеєр із модульною стрічкою

Такий вид конвеєрів застосовується у різних галузях промисловості, у

тому числі у харчовій. Завдяки модульній системі складання вони дозволяють створювати гнучкі лінії довжиною до 400 метрів, огинати кути, змінювати напрямок вантажу, що переміщується (рис. 40), а також переміщувати вантаж з однієї лінії на іншу.

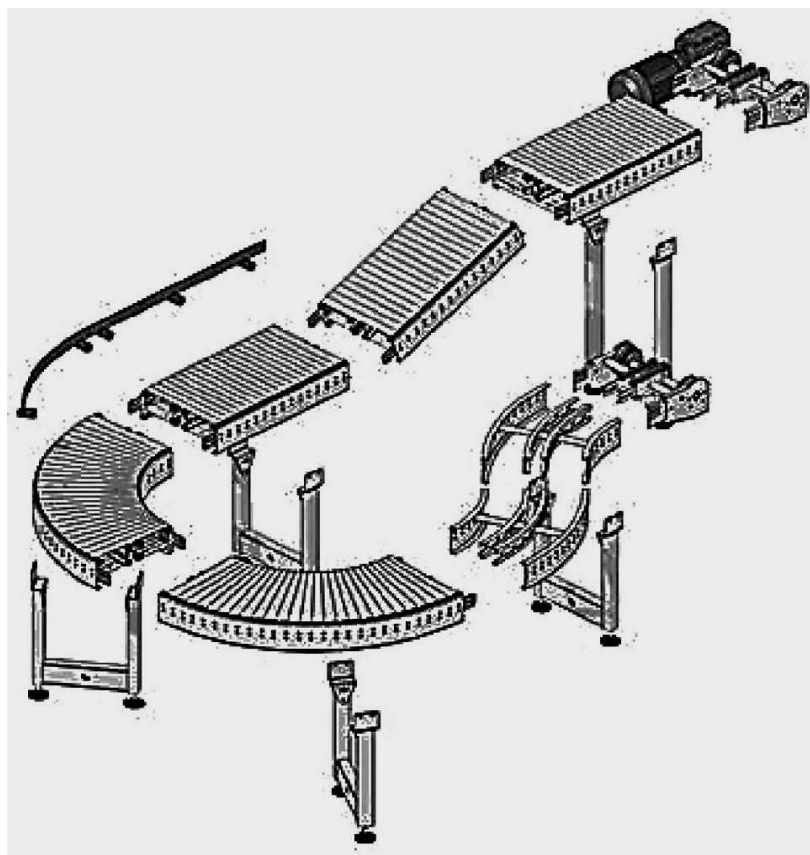


Рис. 40. Гнучкий модульний конвеєр

Висновок. Зважаючи на всі позитивні сторони кожного з типів стрічкових конвеєрів, для реалізації конструкції стрічкового сушильного МХ апарата слід обрати конвеєр безроликового типу, так як розміщення роликів всередині сушильних камер буде недоцільним, і стрічка конвеєра має рухатись безпосередньо по внутрішній поверхні нижньої металевої стінки (нержавіюча сталь) сушильної камери.

Як більш універсальний варіант можна розглянути модульну систему, тоді сушильні модулі можна було б розміщати не в одну лінію а паралельними групами з поворотом стрічки на 180, але вартість такого рішення буде дуже високою і зробить розробляє мий апарат занадто дорогим.

2.2.2. Вибір конвеєрної стрічки

Конвеєрна стрічка є найважливішою складовою деталлю стрічкового конвеєра. Стрічка є одночасно вантажонесучим та тяговим органом стрічкового конвеєра. Її міцний матеріал допомагає транспортувати найрізноманітніші сипкі, шматкові та штучні вантажі. Конвеєрна стрічка дозволяє переміщувати матеріали на великі відстані. Її застосування робить виробничий процес економічним і практично безперебійним. Матеріали та конструктивні особливості стрічок залежать від типу продукції, що транспортується. Стрічка виконує пересування вантажу по всій своїй протяжності горизонтально, похило під легким нахилом чи прямим кутом. Конвеєрні стрічки використовуються практично у всіх сферах промисловості. Без них важко уявити харчове виробництво.

Конвеєрні стрічки повинні володіти високою міцністю для забезпечення передачі тягового зусилля, поперечною гнучкістю, що сприяє утворенню жолоба, обмеженим подовженням для забезпечення мінімального ходу натяжних пристроїв конвеєра, зносостійкістю обкладки, стійкістю до ударних навантажень, порізів і поривів, розшарування, комах, навколишнього середовища. Стрічки повинні мати мінімальну товщину для зменшення можливості розшарування при обгинанні барабанів, зберігати міцнісні та геометричні характеристики в процесі експлуатації. Оптимальною вважається конвеєрна стрічка, що має мінімальну вартість та достатню довговічність. Спеціальні типи стрічок повинні мати також негорючість, зберігати працездатність при низьких температурах, мати низьке набухання в різних середовищах, забезпечувати, можливо, більш тривалий опір тепловим навантаженням, дозволяти транспортування непакованих харчових продуктів. Експлуатаційні вимоги до конвеєрних стрічок обумовлюють застосування відповідних гум та армуючих матеріалів у тяговому шарі.

Основні вимоги до конвеєрних стрічок:

- 1) висока міцність у напрямі дії тягового зусилля;

- 2) висока поздовжня жорсткість під час розтягування для забезпечення малого пружного подовження при робочих навантаженнях і, отже, невеликого ходу натяжного пристрою;
- 3) еластичність стрічки в поздовжньому та поперечному напрямку;
- 4) мале залишкове подовження у процесі експлуатації;
- 5) висока міцність в томи;
- 6) опірність ударним навантаженням у зоні завантаження конвеєра та при проходженні роликкоопор;
- 7) стійкість обкладок стрічки проти абразивного зношування;
- 8) малі гістерезисні втрати при деформуванні стрічки на трасі конвеєра;
- 9) збереження геометричних та міцнісних властивостей у процесі тривалої експлуатації.

У деяких випадках до стрічки пред'являються особливі вимоги, наприклад, морозостійкість, теплостійкість, вогнестійкість, стійкість до агресивних середовищ та ін. Найважливішими розрахунковими параметрами стрічки є: ширина, прокладки каркасу, міцність при розриві, відносне подовження і товщина обкладок. Ширина стрічки визначається природою та фракцією матеріалу, який може транспортуватися даною стрічкою та приймається розрахунковим шляхом залежно від швидкості транспортування вантажу, продуктивності конвеєра. Міцність на розрив (максимальне зусилля, яке можна довго допустити у даній стрічці) визначає максимальну можливу довжину конвеєра, встановлену потужність, конструкцію приводу, а з урахуванням відносного подовження стрічки - конструкцію натяжного пристрою. Міцність стрічки на розрив визначається типом основи та числом прокладок чи тросів у ній. Удосконалення стрічок відбувається шляхом підвищення їхньої номінальної міцності при розриві, зносостійкості, зменшення відносного подовження та спеціальних промислових вимог.

Залежно від методики виробництва конвеєрна стрічка буває кількох видів: гумотканинна, резинотросова, модульна, сітчаста. За типом несучої поверхні: з прямою гладкою поверхнею стрічки, з рифленою поверхнею

стрічки, з шевронною поверхнею стрічки, з перегородками (захопленнями), з гофробортом (бортиками). Залежно від методики виробництва конвеєрна стрічка буває кількох видів: гумотканинна, резинотросова, модульна, сітчаста.

За типом несучої поверхні: з прямою гладкою поверхнею стрічки, з рифленою поверхнею стрічки, з шевронною поверхнею стрічки, з перегородками (захопленнями), з гофробортом (бортиками). Залежно від методики виробництва конвеєрна стрічка буває кількох видів: гумотканинна, резинотросова, модульна, сітчаста. За типом несучої поверхні: з прямою гладкою поверхнею стрічки, з рифленою поверхнею стрічки, з шевронною поверхнею стрічки, з перегородками (захопленнями), з гофробортом (бортиками).

Спеціальні стрічки для харчової промисловості, які мають допуск для прямого контакту з продуктом:

Butyl – робоче покриття з бутилової гуми; застосовуються у виробництві молочних виробів для заморозки: морозиво, фрукти, овочі, пельмені і т.д.;

Silam HVS стрічки із силіконовим покриттям; ці стрічки незамінні: при виробництві карамельних виробів, жувальної гуми, транспортуванні гарячої випічки у хімічній промисловості;

Nitrile - робоче покриття на основі карбоксилатних нітрільних каучуків з високою зносостійкістю застосовується у цукровій промисловості;

Fabric – тканинне покриття; використовується у харчовому виконанні при хлібопеченні.

Для конструкції стрічкового сушильного мікрохвильового апарату з комбінованим способом видалення вологи до стрічки конвеєра, окрім загальних вимог до конвеєрних стрічок пред'являються наступні специфічні вимоги:

- стрічка має бути неметалева (радіопрозора) так як металеві елементи спричинять її нагрівання мікрохвильовим випромінюванням в сушильних камерах.
- стрічка має бути сітчастою з величиною віконць в межах 2-3 мм, для організації продування шару сировини;

- довжина конвеєра сушильної установки відносно невелика – 8 м, що означає невисокі вимоги до міцності стрічки;
- навантаження стрічки буде складати тонкий шар сипучої рослинної сировини (наприклад бобів) товщиною в 20-30 мм., що також зменшує вимоги до міцності так як питоме навантаження на стрічку має складати в межах $4,0 \text{ кг/м}^2$, тобто в загальне навантаження на стрічку конвеєра установки довжиною 8000 мм складатиме до 20 кг.

Висновок. Для мого проекту слід обрати тефлонову склотканину конвеєрну стрічку з розміром осередку $2 \times 2 \text{ мм}$.

Спосіб закріплення стрічки - термічний з прошивкою по краю полотна. Термічно склеєний край тефлонової стрічки або смугою склотканини з тефловим (PTFE) шириною 5-6 см. Потім край прошитий ниткою. В цілому по 2,5-3 см обшитий тефлон по краях. Тефловий замок встановлюється на краю тефлонової стрічки транспортера.

Обробка країв – це посилення країв сітки спеціальним зносостійким матеріалом – або з склотканини з тефловим покриттям або прозорою/білою тефловою стрічкою тефловою. Підсилюючий шар, як правило, має два типи фіксації – термофіксація та додаткова прошивка кевларовою ниткою. Заробка країв дозволяє значно (в 3-5 разів) збільшити термін експлуатації стрічки, так як найбільш схильними до пошкодження є якраз бічні краї сітки. Зміцнення країв застосовується у всіх сітчастих транспортерних стрічках.



Рис. 41. Тефлонова сітчаста конвеєрна стрічка.

Властивості транспортних стрічок:

- невелика маса, яка призводить до зниження споживаної потужності
- чудові коефіцієнти теплопровідності
- низький коефіцієнт прилипання
- можливість виготовлення транспортної стрічки відповідної машини
- можливість вибору товщини транспортної стрічки та виду зміцнення країв.

Властивості сіток ПТФЕ (тефлон + скловолокно):

- Забезпечують роботу в діапазоні температур від мінус 150 до плюс 260°C. (короткочасно до плюс 300 ° C);
- Мають високу міцність на розрив, гнучкість і практично нерозтяжна;
- Тефлонові сітки мають чудову хімічну стійкість і високу — зносостійкість, інертні;
- Тефлонове полотно є гарним діелектричним;
- Мають чудові антиадгезійні властивості;

2.2.3. Вибір барабанів стрічкового конвеєра

Барабани є одним із основних елементів стрічкового конвеєра. Залежно від виконуваної функції у роботі конвеєра, вони можуть бути: приводні та натяжні. У свою чергу, натяжні барабани бувають хвостовими, головними, оборотними, обвідними, притискними, відхиляючими. У зв'язку з цим барабани мають різні конструкції. Виробники комплектуючих стрічкових конвеєрів пропонують широку лінійку конструкцій барабанів. Барабан приводний встановлюється на вал, так як він передає рух конвеєрній стрічці за рахунок крутного моменту, що передається, і певної швидкості (рис. 42).

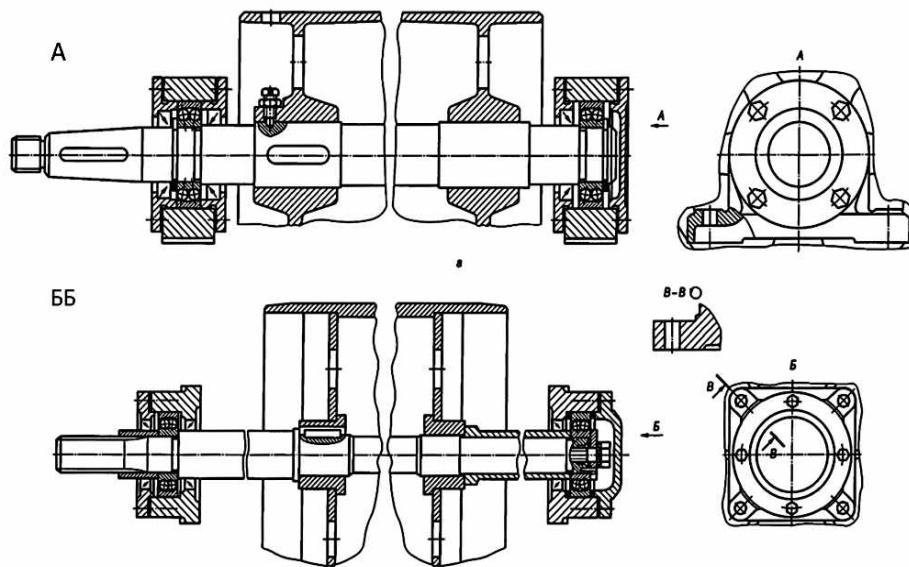


Рис. 42. Барабани приводні на валу: А – литий; Б - зварний

Барабани натяжні та відхиляючі встановлюються на осях рухливих та нерухомих (рис. 43).

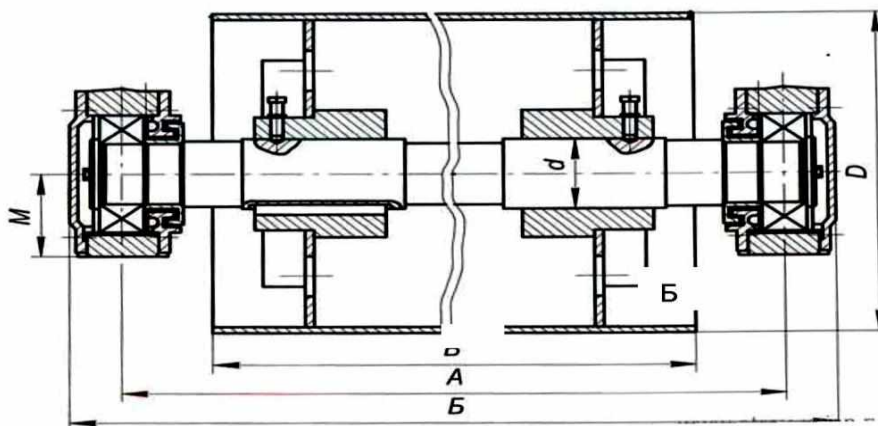


Рис. 43. Натяжний барабан

Усі види барабанів (привідні, натяжні, що відхиляють) повинні забезпечувати рівномірність руху та оптимальне натягнення конвеєрної стрічки під час виробничого процесу. Так як приводний барабан встановлюється на рамі конвеєра у підшипникових корпусах, тому можлива неточність монтажу. Для компенсації неспіввісності установки барабана застосовуються самовстановлювані дворядні сферичні підшипники. Саме діаметр підшипника так само, як і ширина конвеєрної стрічки є визначальними факторами при виборі типу барабана. Розмір консолі приводного валу залежить від типу редуктора та способу з'єднання приводу та приводного барабана. Натяжні і

відхиляючі барабани не передають момент, що крутить, тому вони встановлюються на осі в кулькових радіальних підшипниках.

Кожен барабан розрахований на певну потужність конвеєра. Тому до найважливіших параметрів цього механізму відносяться міцнісна та функціональна характеристики. Чим більше величина крутного моменту і чим вище допустиме навантаження на стрічку, що рухається, тим вище міцнісна характеристика барабана. Функціональна характеристика визначається розрахунковими формулами сили тертя між стрічкою та барабаном. Для збільшення сили тертя (коефіцієнта тертя) стрічки на барабані поверхня його може бути футерована гумою, еластомером, наприклад, нітриловий каучук (твердість 60-80) або уретан (твердість 80-90). Такі фрикційні покриття можуть бути використані у формі труби, листа або розпиленням (рис. 44).

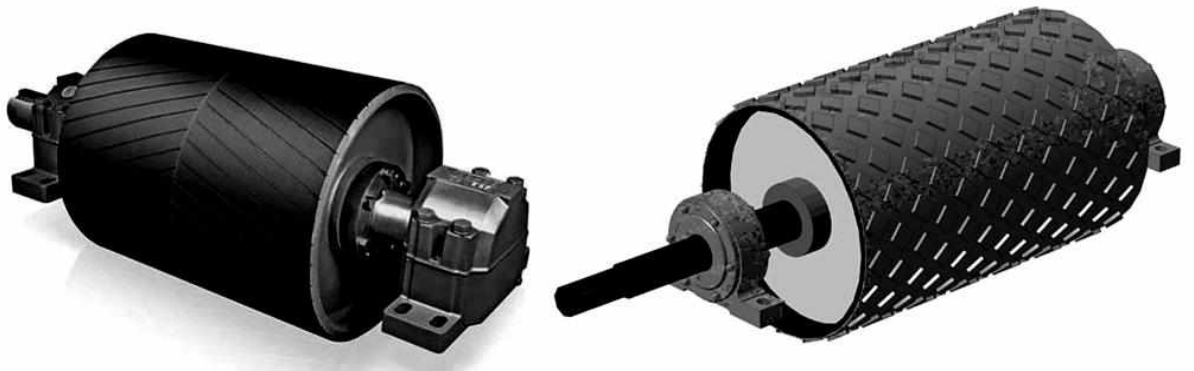


Рис. 44. Приводні барабани футеровані гумою

Мінімальні діаметри барабанів визначаються від його призначення навантаження, в основі якого розуміється максимальний натяг стрічки, величина окружного зусилля крутного моменту, що передається (рис.45).

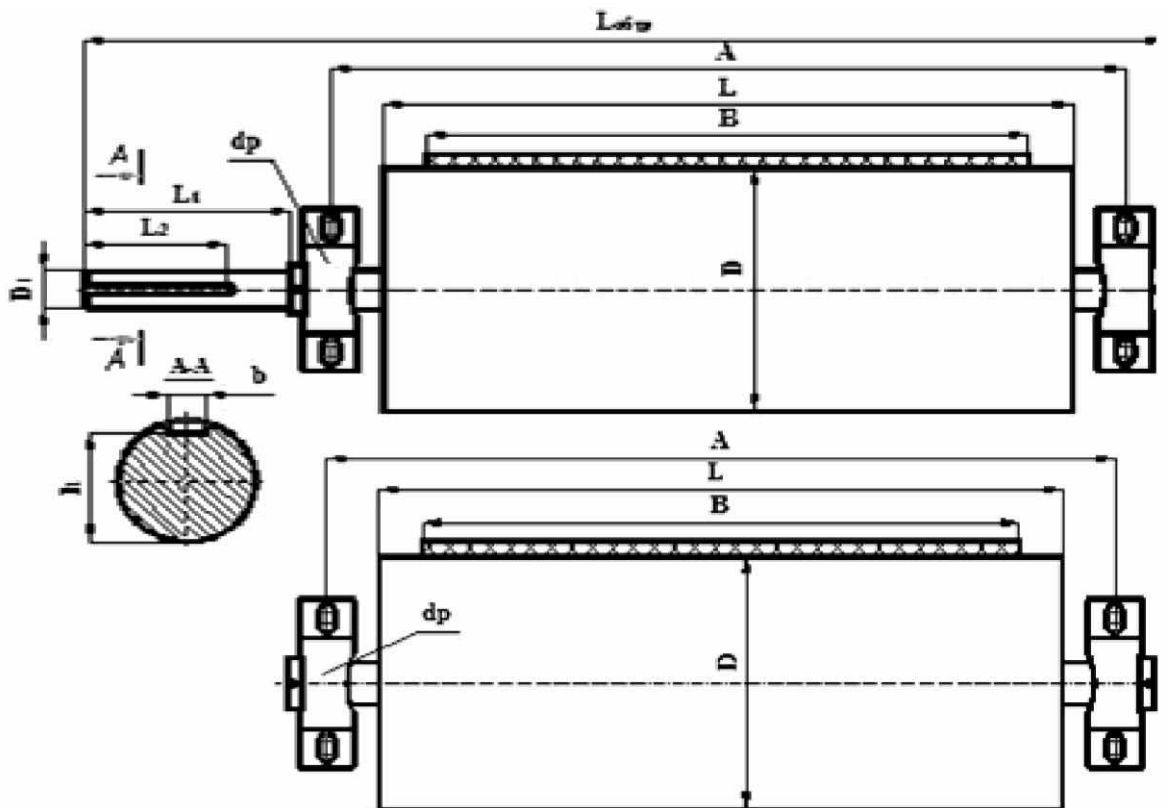


Рис. 45. Барабан приводний, непривідний: - ширина стрічки; D – діаметр барабана; $D1$ – діаметр валу; $L_{заг}$ - загальна довжина валу; L – довжина обічайки барабана; $L1$ – довжина консолі; $L2$ – довжина шпонки; dp – діаметр підшипника; A – приєднувальний розмір до рами конвеєра.

Висновок. Для конвеєра сушильного апарату з комбінованим способом вологовидалення, зважаючи на невисокий рівень завантаженості стрічки та незначну відстань перенесення вантажу доцільно використати зварні, гладкі, не футеровані, сталеві привідний та натяжний барабани, діаметр яких слід розрахувати в залежності від зусилля необхідного для транспортування стрічки з продуктом.

2.2.4. Вибір натяжного пристрою

За допомогою натяжного пристрою стрічці повідомляється певний натяг, який створює тягове зусилля на приводному барабані за рахунок сили тертя, що виникає між стрічкою та поверхнею барабана. Крім того, натяг стрічки повинен

бути достатнім для транспортування вантажу, крім провису між роликівими опорами. Натяжний пристрій у процесі експлуатації конвеєра компенсує витяжку стрічки.

Як основний елемент натяжного пристрою використовують зазвичай хвостовий барабан конвеєра. У деяких конструкціях натяжний барабан встановлюють на холостій гілці утворенням петлі стрічки конвеєра після приводного барабана.

Натяжні пристрої за способом дії та конструкції класифікують на механічні; пневматичні; гідравлічні; вантажні (рис. 46).

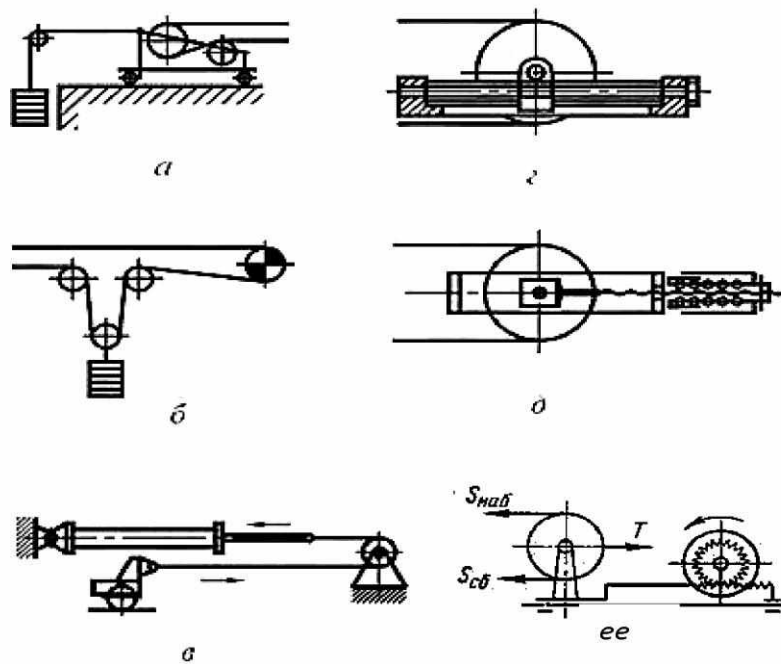


Рис. 46. Натяжні пристрої: а – хвостове вантажне; б - проміжне вантажне; в - гідравлічне (пневматичне); г - гвинтове; д- пружинно-гвинтове; е - рейкове

Вантажні натяжні пристрої поділяються на вантажні візкові та вантажні вертикальні (рамні). Кожен із названих натяжних пристроїв складається з натяжного візка (або натяжної рами) та вантажного пристрою. Вантажні пристрої можуть бути без поліспаду, з поліспастом або вантажобідні Переваги механічних натяжних пристроїв: - простота конструкції; малі габаритні розміри; компактність. Недоліки механічних натяжних пристроїв: нестабільний натяг у процесі експлуатації конвеєра; можливість надмірного натягу тягового

елемента; жорсткість кріплення та відсутність рухливості при випадкових перевантаженнях; необхідність періодичного спостереження та підтягування.

Переваги вантажного натяжного пристрою: працює під дією вантажу, автоматично забезпечує постійне зусилля натягу стрічки; компенсує зміни довжини тягового елемента; зменшує пікові навантаження під час перевантажень. Недоліки вантажного натяжного пристрою: великі габаритні розміри; велика маса вантажу для потужних та довгих стрічкових конвеєрів.

Пневматичні та гідравлічні натяжні пристрої мають малі габаритні розміри, але потребують встановлення спеціального обладнання для подачі під постійним тиском повітря або олії.

Вибір типу натяжного пристрою залежить від довжини конвеєра, схеми траси, умов розміщення пристрою та інших умов. В основному на конвеєрах, що використовуються в хімічній та харчовій промисловості, використовують механічні (гвинтові) натяжні пристрої (рис. 47).

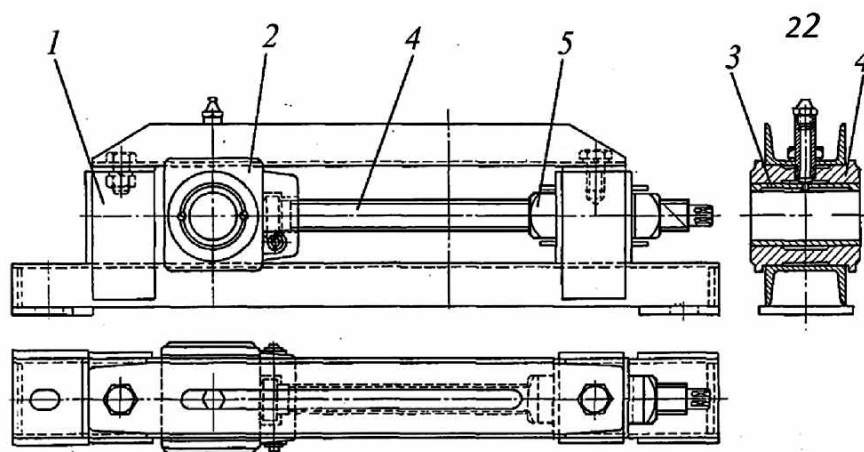


Рис. 47. Гвинтовий натяжний пристрій: 1 – корпус; 2 – повзун; 3 – вкладиш; 4 – гвинт; 5 – гайка

Довжина ходу барабана натяжного пристрою має бути (1,5-2)% від довжини конвеєра. Гвинтові натяжні пристрої слід застосовувати за довжини конвеєра не більше 50 м. Довжина ходу натяжного барабана гвинтового пристрою повинна бути 320 мм (для конвеєрів довжиною до 15 м); 500 мм (для конвеєрів до 25 м) та 800 мм (для конвеєрів довжиною 25-50 м). Типорозмір

гвинтового натяжного пристрою слід приймати в залежності від типорозміру приводного барабана. З метою зменшення габаритів конвеєра рекомендується встановлювати гвинт у рамках контуру стрічки, тобто щоб гвинт працював на деформацію стиснення (рис. 48).

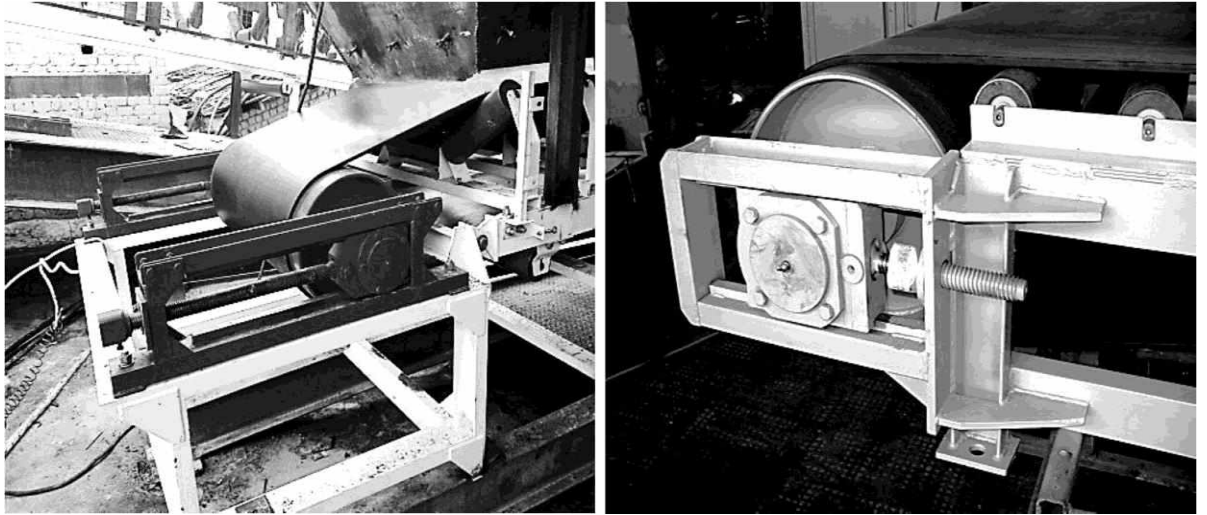


Рис.48. Установка гвинтового натяжного пристрою

Висновок. Зважаючи на невелику довжину стрічкового конвеєра сушарки (8,0 м) та необхідність зберігати компактні розміри апарату оберемо для реалізації типовий натяжний пристрій гвинтового типу.

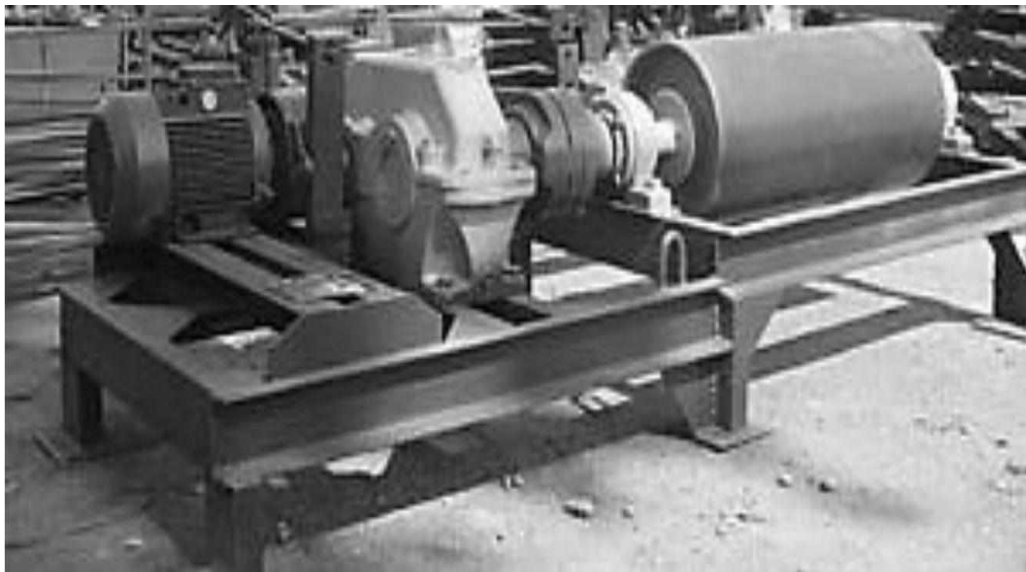
2.2.5. Кінематичний розрахунок приводу конвеєра

Привід – електромеханічний пристрій для приведення в дію стрічкових конвеєрів. Призначення приводу - створити тягове зусилля на приводному барабані з метою забезпечення певної швидкості руху стрічки з вантажем, що транспортується, як у момент пуску конвеєра, так і в стаціонарному режимі.

Найбільш надійним та конструктивно простим для стрічкових конвеєрів загального призначення та, зокрема, для хімічної та харчової промисловості, є однобарабанный привід. При виборі типу редуктора для приводу робочого органу (пристрою) необхідно враховувати безліч факторів, найважливішими з яких є: значення та характер зміни навантаження, необхідна довговічність,

надійність, ККД, маса та габаритні розміри, вимоги до рівня шуму, вартість виробу, експлуатаційні витрати. З усіх видів передач зубчасті передачі мають найменші габарити, масу, вартість та втрати на тертя. Коефіцієнт втрат однієї зубчастої пари при ретельному виконанні та належному мастилі не перевищує зазвичай 0,02-0,03. Зубчасті передачі в порівнянні з іншими механічними передачами мають велику надійність у роботі, сталістю передавального відношення через відсутність прослизання, можливістю застосування в широкому діапазоні швидкостей та передавальних відносин. Ці властивості забезпечили велике поширення зубчастих передач; вони застосовуються для потужностей, починаючи від мізерно малих (у приладах) до вимірюваних десятками тисяч кіловат.

Електромеханічний привод стрічкового конвеєра складається з електродвигуна та механічної частини, що складається з редуктора та при необхідності відкритої передачі. У стрічкових конвеєрах загального призначення переважно застосовуються асинхронні з підвищеним пусковим моментом електродвигуни, типу 4А. Даний електродвигун має високу надійність, відносно низьку вартість, простоту в експлуатації та забезпечує нормальний пуск приводу за умови $M_{\text{пуск}}/M_{\text{ном}} > 1,5-1,8$.



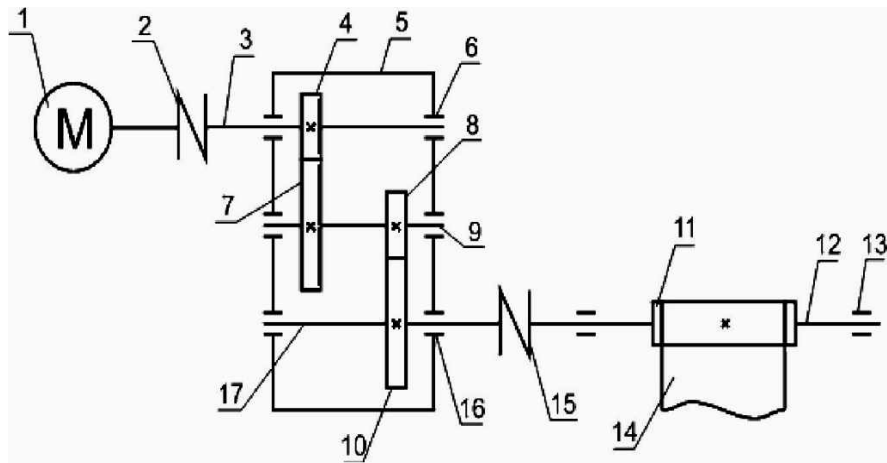


Рис. 49. Привід до стрічкового конвеєра: 1 – електродвигун; 2,15 – муфти (МУВП, ланцюгова); 3 – швидкохідний (провідний) вал; 4,7 -1-ий зубчастий ступінь; 5 – корпус; 6,9,16 – підшипникові вузли; 8,10 - другий зубчастий ступінь; 11 - приводний барабан; 12 – вал; 13 - підшипниковий вузол; 14 – конвеєрна стрічка; 17 - тихохідний (відомий) вал

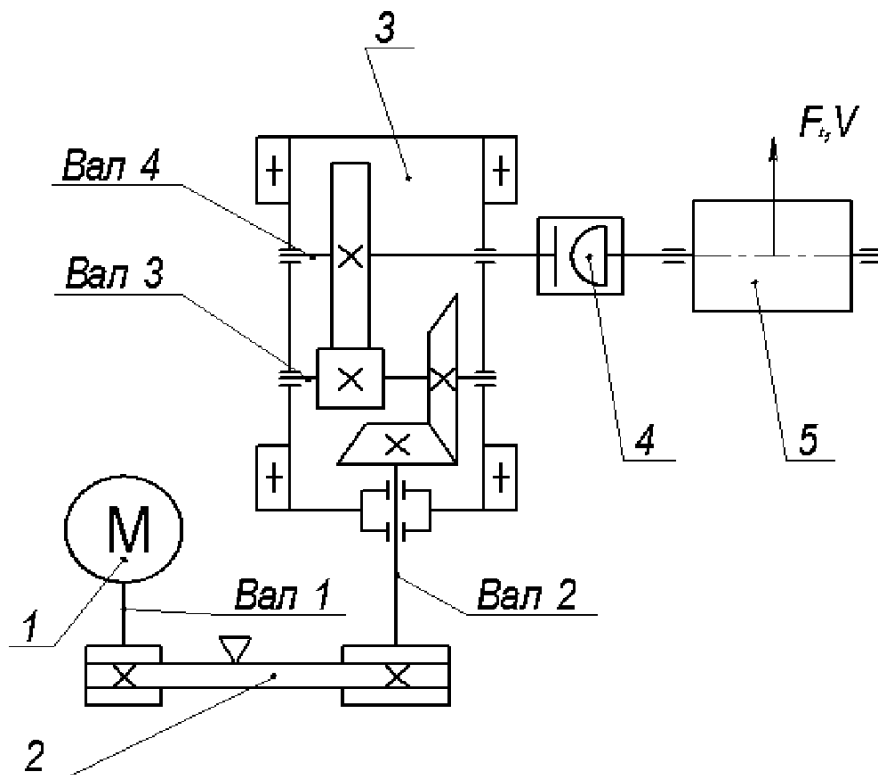


Рис. 50. Привід до стрічкового конвеєра: 1 – електродвигун; 2 – ремінна передача; 3 - конічно-циліндричний редуктор; 4 – муфта фрикційна; 5 - приводний барабан

Залежно від призначення конвеєра, продуктивності, експлуатаційних вимог, привід проектується в різній конструктивній інтерпретації з точки зору

розташування, оптимальності, економічності. Редуктори в приводі зазвичай застосовують зубчасті циліндричні двоступінчасті (рис. 49), при встановленні приводу, де двигун розташовується вздовж осі конвеєра, застосовують зубчасті конічно-циліндричні редуктори (рис. 50).

При великих передатних відношеннях приводу в конвеєрах з малими швидкостями, наприклад, у харчовій промисловості, застосовують черв'ячні редуктори (рис. 51) або мотор-редуктори.

Редуктори підбирають за розрахунковим моментом на тихохідному валу і передатному відношенню таким чином, щоб під час експлуатації прийнятий редуктор працював з можливим навантаженням до 5% і недовантаженням до 15%. Двигун вибирається за розрахунковою потужністю та синхронною частотою обертання валу.

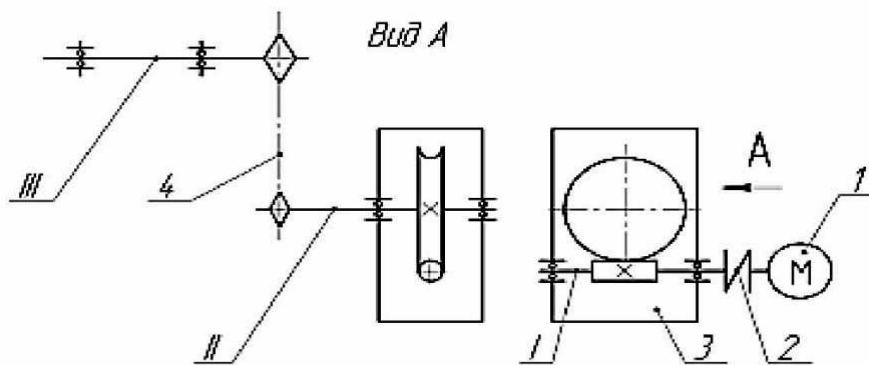


Рис. 51. Привід до стрічкового конвеєра: 1 – електродвигун; 2 – муфта пружна; 3 – черв'ячний редуктор; 4 – ланцюгова передача; I – провідний вал редуктора; II - ведений вал редуктора; III - вал приводного барабана

Установка приводу може здійснюватися всередині приводної частини зварної рами конвеєра, тоді застосовують відкриті передачі зубчасті, ремінні або ланцюгові. Оптимальний тип передачі вибирається з урахуванням експлуатаційних умов, характеру навантаження, терміну служби, техніки безпеки, зручності розташування, обслуговування, вартості.

Привідна механічна система забезпечується сполучними муфтами. Вал електродвигуна з швидкохідним (провідним) валом редуктора з'єднується пружними муфтами: втулково-пальцевою, з гумовою зірочкою, тороподібною оболонкою.

Ці муфти мають малий момент інерції, що зменшує пускові та інші динамічні навантаження, а також мають пружні властивості, що дозволяє компенсувати перекіс валів, радіальне і осьове зміщення. Вихідний (відомий) вал редуктора і вал приводного барабана конвеєра зазвичай з'єднують зубчастою або ланцюговою муфтами. Ці муфти передають великі моменти кручення і в той же час володіють хорошими властивостями, що особливо компенсують, що особливо необхідно для з'єднання валів, коли вузли розташовані не на одній рамі. Якщо рама приводу встановлена в рамках станини конвеєра, кращим варіантом з'єднання валів є відкрита передача.

Розрахунок параметрів стрічкового конвеєра.

Зважаючи на приведені вище, визначимо основні параметри вузлів стрічкового конвеєра мікрохвильової стрічкової сушарки. Конструктивні параметри установки оберемо у відповідності до креслення загального виду.

Параметри стрічкового конвеєра визначаються вихідними даними:

- призначення: транспортування сипучої рослинної сировини з максимальним питомим навантаженням на стрічку до $4,0 \text{ кг/м}^2$.
- характеристика вантажу: рослинна сировина (горох, зерно, насіння соняшника, різані фрукти та овочі) розміщеної тонким рівномірним шаром з висотою насипу до 20 мм.
- продуктивність: змінна (орієнтовно до 75-100 кг/год для зерна)
- режим роботи: постійний, з регулюванням швидкості руху стрічки.

- схема транспортування вантажу: лінійна, горизонтальна.
- швидкість руху стрічки: 0-0,05 м/с.
- геометричні розміри конвеєра: ширина – 0,50 м, довжина – 8,0 м.
- додаткові умови: допустиме використання лише синтетичної стрічки, що не нагрівається в електромагнітному полі, також стрічка має бути сертифікована для використання з харчовими продуктами.

Слід зауважити, що конвеєр даної сушильної установки працюватиме у легкому режимі експлуатації.

Продуктивність конвеєра (Q) залежить від погонного навантаження вантажу, що транспортується (G), і швидкості (V)

$$Q = 3,6 * G * V, \text{ кг/год} \quad (1)$$

Тоді максимальна продуктивність складатиме:

$$Q = 3,6 * 4,0 * 0,05 = 0,72 \text{ т/год.}$$

Проте аналізуючи характеристики продуктивності установки зазначимо, що її максимальне значення складає 0,3 т/год. Це означає, що з максимальною продуктивністю конвеєр працювати не буде, так як високі швидкості транспортування сировини допустимі лише при малій його завантаженості.

Згідно з стандартом швидкість стрічки V (м/с) має вибиратися з наступного ряду: 0,25; 0,315; 0,4; 0,5; 0,63; 0,8; 1,0; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,15; 4,0; 5,0; 6,3. Відхилення швидкостей допускається не більше +10%. Короткі конвеєри повинні мати меншу швидкість, ніж довгі та магістральні, для яких доцільне застосування підвищених швидкостей. Проте у харчовій промисловості, якщо конвеєри використовуються не тільки для транспортування вантажу, а і для виконання технологічних операцій, швидкість може бути меншою за 0,25 м/с.

Вибір конвеєрної стрічки.

Вибір стрічки багато в чому залежить від її призначення та умов, за яких передбачається її експлуатація. При виборі конвеєрної стрічки слід враховувати такі фактори:

- 1) довжина траси конвеєра;

- 2) наявність увігнутих ділянок профілю робочої гілки стрічки;
- 3) достатня міцність стрічки на розрив;
- 4) допустимі (за технічною характеристикою стрічки) діаметри приводних, натяжних та обвідних барабанів конвеєра;
- 5) ступінь тертя вантажу на робочу поверхню стрічки, а також опорної поверхні стрічки на поверхню приводного барабана;
- 6) вид підтримуючого пристрою; швидкість руху;
- 7) спосіб завантаження;
- 8) кут нахилу конвеєра;
- 9) умови роботи конвеєра (запиленість, вологість, якість монтажу вузлів на раму та ін.);
- 10) прогнозований термін служби;
- 11) вартість стрічки;
- 12) вплив маси стрічки на енергоспоживання конвеєра

Зважаючи на вимоги до експлуатації мікрохвильової сушарки та умову радіо прозорості стрічки оберемо конвеєрну стрічку від компанії ABC TECH [17] виготовлену з тефлонової сітки з наступними параметрами:

Основні характеристики обраного типу стрічки.

Ширина стрічки: 500 мм (можлива ширина - до 1200 мм)

Товщина: 1 мм

Розмір комірки сітки стрічки: 2x2 мм

Максимальна робоча температура: 260 °С

Мінімальна робоча температура: -150 °С

Міцність на розрив: 640 Н/см

Визначення основних параметрів барабанів.

При проектуванні конвеєра рекомендується розміри приводного барабана приймати в залежності від ширини та номінальної міцності стрічки.

Отриманий діаметр барабана округляють до стандартного найближчого значення.

Довжина барабана вибирається залежно від ширини стрічки (мал. 52)

$$L = B + (100 - 200) \text{ мм.} \quad (2)$$

$$\text{Тоді } L = 500 + 100 = 600 \text{ мм.}$$

Відстань між втулками зазвичай приймається

$$K = 0,7 * L \text{ мм.} \quad (3)$$

$$K = 0,7 * 600 = 420 \text{ мм.}$$

Товщина обода барабана приймається рівною

$$\delta_{об} = 0,005 * D + (4 - 5) \text{ мм.} \quad (4)$$

$$\delta_{об} = 0,005 * 200 + 5 = 1,025 \text{ мм.}$$

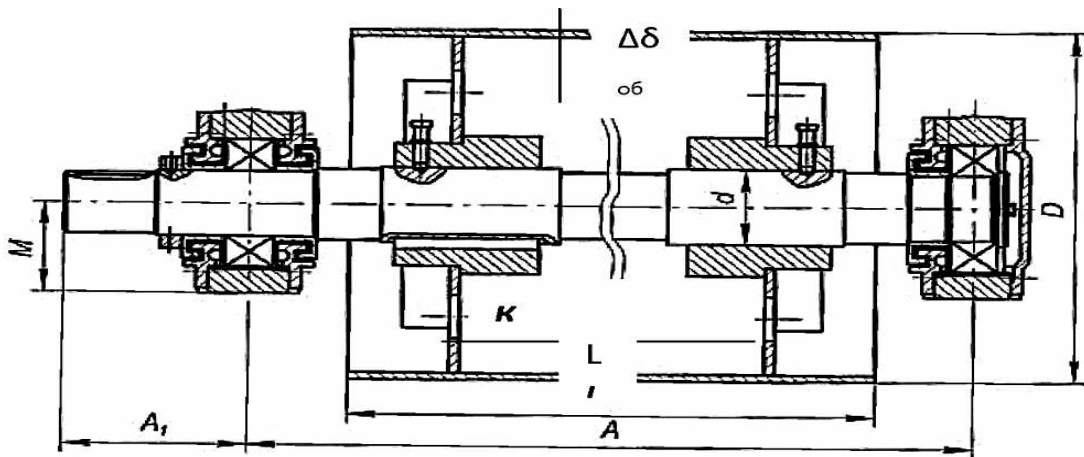


Рис. 52. Основні параметри конструкції барабана

За розрахованими параметрами виконано деталювання привідного та натяжного вузлів конвеєра.

2.2.6. Силовий розрахунок, вибір електродвигуна

Розрахунок приводу.

Відомо, що конвеєр має періоди сталого та несталого періоду руху. До несталого періоду, відноситься пуск і гальмування конвеєра. Ці періоди короткочасні, однак, при пуску виникають найбільші навантаження, які складаються з опорів і динамічних сил інерції поступово і обертових мас елементів конвеєра, з'єднаних пружними зв'язками. При пуску електродвигуна пружні зв'язки деформуються, і в системі конвеєра виникають коливання.

Так як у момент пуску конвеєра момент на барабані максимальний, тому з урахуванням динамічного навантаження визначимо момент на валу приводного барабана

$$M_{\text{б}} = \frac{P^n * D_{\text{б}}}{2} \quad (5)$$

$$M_{\text{б}} = \frac{133 * 0,2}{2} = 13,3 \text{ Нм}$$

Визначимо кутову швидкість приводного барабана

$$n_{\text{б}} = \frac{60 * 10^3 * V}{\pi D_{\text{б}}} \quad (6)$$

$$n_{\text{б}} = \frac{60 * 10^3 * 0,05}{3,14 * 200} = 4,77 \text{ об/хв}$$

Тоді потужність на приводному барабані дорівнює

$$N_{\text{б}} = \frac{M_{\text{б}} * \pi * n_{\text{б}}}{30} \quad (7)$$

$$N_{\text{б}} = \frac{133 * 3,14 * 4,77}{30} = 664 \text{ Вт} = 0,7 \text{ кВт}$$

Для електромеханічного приводу конвеєра приймаємо редуктор черв'ячний двоступінчастий типу Ч2 і задаємося синхронною частотою обертання валу електродвигуна: $n_c = 1500$ об/хв. Визначимо загальне передавальне число приводу (рис. 53)

$$U_{\text{пр}} = \frac{n_c}{n_{\text{б}}} \quad (8)$$

$$U_{\text{пр}} = \frac{1500}{4,77} = 315$$

Визначимо загальний ККД приводу:

$$\eta_{\text{пр}} = \eta_{\text{зп}}^2 * \eta_{\text{пк}}^3 * \eta_{\text{кпп}} \quad (9)$$

де $\eta_{\text{пк}}$ – ККД підшипників кочення;

$\eta_{\text{зп}}$ - ККД закритої черв'ячної передачі;

$$\eta_{\text{пр}} = 0,95^2 * 0,97^2 = 0,85$$

Визначимо розрахункову потужність електродвигуна

$$N_{\text{ел}} = \frac{N_{\text{п}}}{\eta_{\text{пр}}} \quad (8)$$

$$N_{\text{ел}} = \frac{0,7}{0,85} = 0,82 \text{ кВт}$$

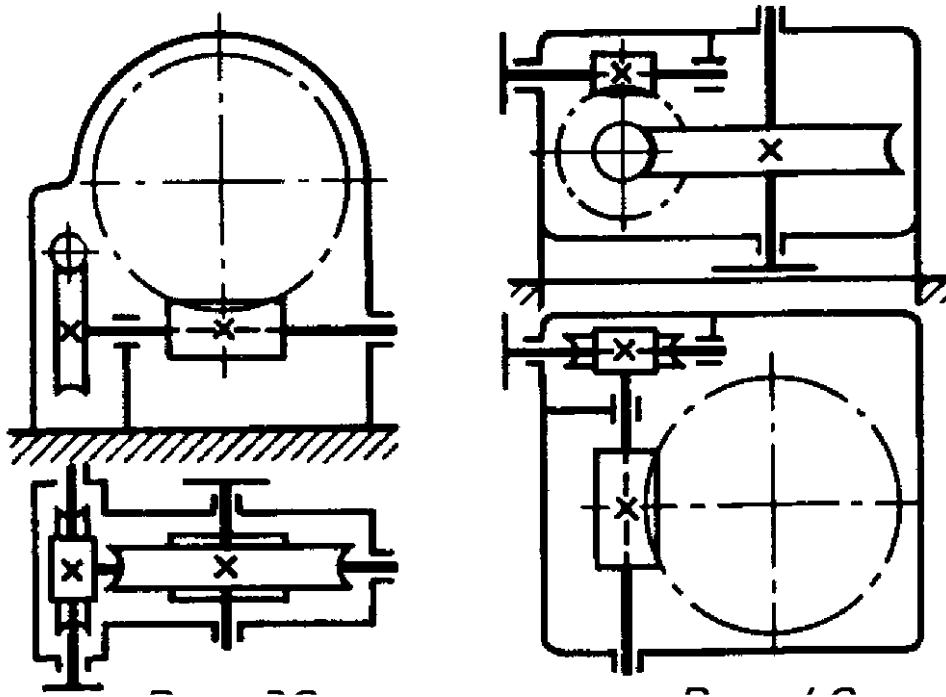


Рис. 53. Схема привоу.

Вибираємо трифазний асинхронний коротко замкнутий електродвигун 4AM80A4 з параметрами: потужність $N_{\text{ел}} = 1.1 \text{ кВт}$; синхронна частота обертання $n_{\text{с}} = 1500 \text{ об/хв.}$.

Визначимо недовантаження роботи електродвигуна.

$$\text{Недовантаження} = ((1,1 - 0,84) \cdot 100) / 4 = 19,9\% \quad (9)$$

Двигун працює з недовантаженням, що дорівнює 20%, що більше ніж допустимі 15%, проте двигуни з ближчою потужністю відсутні. Тож можна вирішити, що електродвигун обраний правильно.

Вибираємо редуктор черв'ячний двоступінчастий типу Ч2-40 з передавальним числом $u_{\text{р}}^{\text{ст}} = 315$ та моментом на тихохідному валу $M_{\text{тв}}^{\text{р}} = 28 \text{ Нм}$.

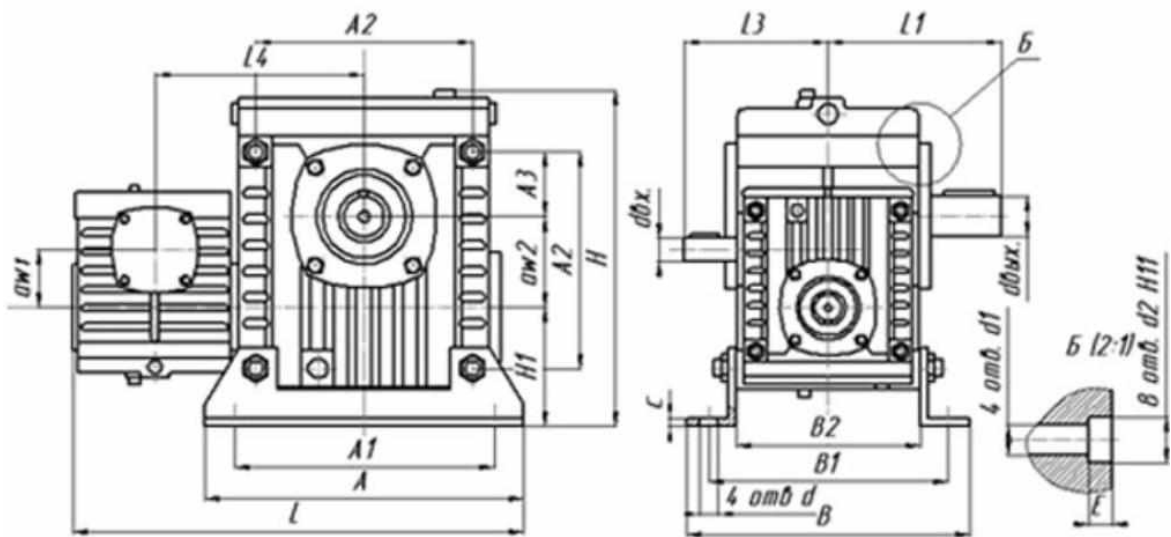
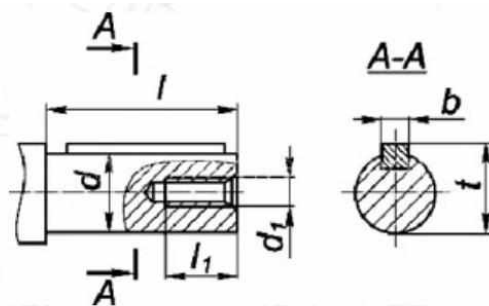


Рис. 54. Фото та загальний вид редукторів типу Ч2.

Таблиця 4. Геометричні параметри редукторів типу Ч2.

Редуктор	aw1	aw2	A	A ₁	A ₂	A ₃	B	B ₁	B ₂	L	L ₁	L ₃	L ₄	H	H ₁	C	d	d ₁	d ₂	E	D _{вх}	D _{вых}
редуктор Ч2 40/63	40	63	220	180	150	45	197	165	125	323	120	100	173	232	82	5	13	10,5	16	8	16	28



Редуктор	d	d ₁	l	l ₁	b	t
Ч2-40/63	28к6	M8	60	20	8	31

Рис. 55. Приєднувальні розміри вихідного валу редукторів типу Ч2.

Висновок. Вибраний редуктор Ч2-40/63 працюватиме з недовантаженням, що цілком допустимо. Зважаючи на необхідність регулювання швидкості стрічки різниця дійсної та розрахункової швидкості обертання привідного барабана не матиме значення. У приводі передбачено тільки жорсткі з'єднання: швидкісний вал редуктора з'єднується з валом електродвигуна з'єднувальним валом, який встановлюється між валами двигуна та редуктора за допомогою шпонок. Аналогічно з'єднується вихідний вал редуктора з валом привідного барабана конвеєра.

2.2.7. Розрахунок на міцність

Важливим елементом проектуємої механічної передачі є шпонкове з'єднання вихідного валу редуктора з валом привідного барабану стрічкового конвеєра. Слід розрахувати міцність шпонки на деформацію зрізу. Саме ця деталь з'єднання забезпечує передачу обертального моменту від редуктора до барабана конвеєра а від барабана – стрічці конвеєра.

Шпонка є типовим елементом механічного з'єднання і призначена для передачі обертального моменту від валу до маточини насадженого на нього колеса (втулки) або навпаки. Основні типи шпонок стандартизовані за ГОСТ 23360-78.

За результатами розрахунку слід підібрати шпонку для передачі моменту від сталеві муфти до валу барабану (рис. 56) і перевірити шпонкове з'єднання на міцність за умови, якщо відомий діаметр валу d , довжина маточини L і обертальний момент T , який передається шпонковим з'єднанням, а також задано матеріали вала і маточини.

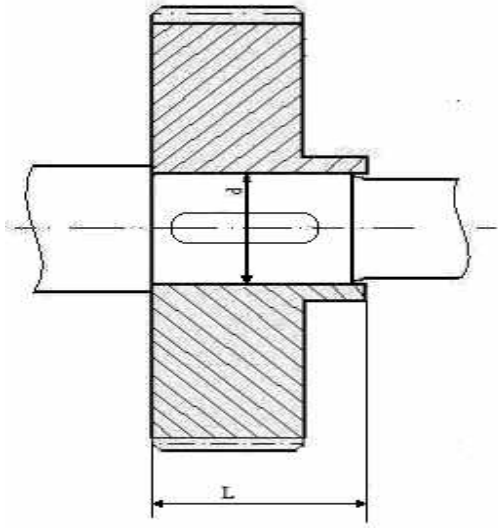


Рис. 56. Приклад шпонкового з'єднання.

Рішення.

Дано: Діаметр вала привідного барабану $d = 28$ мм; загальна довжина жорсткої з'єднуючої муфти складає 120 мм, відповідно її половина складе $L=60$ мм; обертальний момент на тихохідному (вихідному) валу редуктора $T = 28$ Нм; матеріал вала - сталь 45; матеріал муфти - сталь 45Х.

1. Приймаємо матеріал для шпонки - сталь 45.
2. Відповідно до діаметра вала d за ГОСТ 23360-78 приймаємо призматичну шпонку з розміром перерізу $b \times h$. При $d = 28$ мм, $b \times h = 8 \times 7$ мм.

де b – ширина шпонки, 8 мм;

h – висота шпонки, 7 мм;

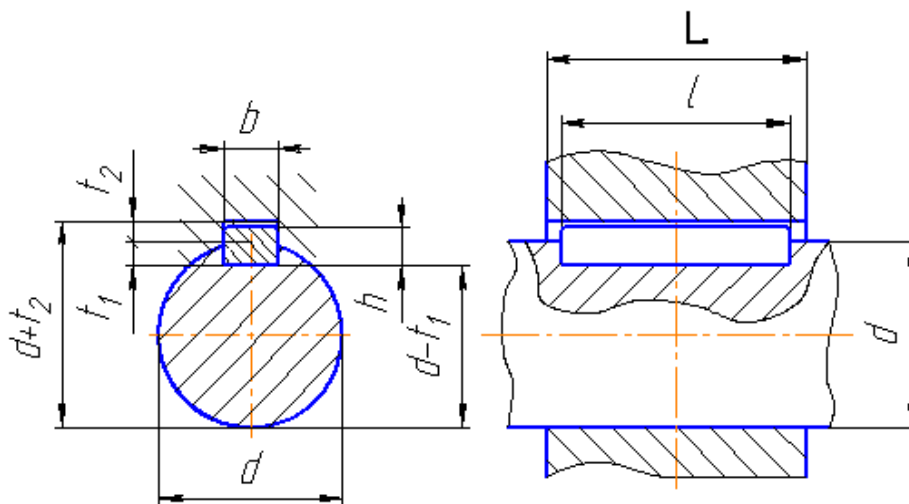


Рис. 57 Схема шпонкового з'єднання.

Таблиця 5. Шпонки призматичні (ГОСТ 23360-78)

Діаметр валу d, мм.		Переріз шпонки, мм		Довжин а l, мм	Фаска, sx45 ⁰	Глибина паза, мм	
Більше	До	b	h			t ₁	t ₂
6	8	2	2	6-20	0,16-0,2 5	1,5	1,0
8	10	3	3	6-36		1,8	1,4
10	12	4	4	8-45		2,5	1,8
12	17	5	5	10-56	0,25-0,4	3,0	2,3
17	22	6	6	14-70		3,5	2,8
<u>22</u>	<u>30</u>	<u>8</u>	<u>7</u>	<u>18-90</u>		<u>4,0</u>	<u>3,3</u>
30	38	10	8	22-110	0,4-0,6	5,0	3,3
38	44	12	8	28-140		5,0	3,3
44	50	14	9	36-160		5,5	3,8
50	58	16	10	45-180		6,0	4,3
58	65	18	11	50-200		7,0	3,4
65	75	20	12	56-220		7,5	4,9
75	85	22	14	63-250	0,6-0,8	9,0	5,4
85	95	25	14	70-280		9,0	5,4
95	110	28	16	80-320		10,0	6,4
110	130	32	18	90-360		11,0	7,4
130	150	36	20	100-400	1,0-1,2	12,0	8,4
150	170	40	22	100-400		13,0	9,4
170	200	45	25	110-450		15,0	10,4
200	230	50	28	125-500		17,0	11,4
230	260	56	32	140-500	1,6-2,0	20,0	12,4
260	290	63	32	160-500		20,0	12,4

Стандартный ряд довжин шпонок l: 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 25, 28, 32, 36, 40, 45, 50, 56, 63, 70, 80, 90, 100, 110, 125, 140, 160, 180, 200, 220, 250, 280, 320, 360, 400, 450.

3. Визначаємо довжину шпонки.

Довжина шпонки l повинна бути на 5-10 мм меншою довжини валу, що контактує з муфтою. Довжина половини муфти складає $L = 60$ мм. Приймаємо довжину шпонки по ГОСТ 23360-78 (табл. 1) $l = 50$ мм.

4. Перевіримо вибрані параметри шпонки на змінання бічних сторін.

$$\sigma = \frac{2 \cdot T \cdot 10^3}{d \cdot l_p \cdot (h - t_1)} \leq [\sigma_{\zeta}]$$

(10)

де t_1 - величина заглиблення шпонки у вал, мм за ГОСТ 23360-78, $t_1 = 4$ мм;

l_p - робоча довжина шпонки, мм;

$[\sigma_{\zeta}]$ - допустиме напруження на змінання, залежне від прийнятого матеріалу муфти.

Робоча довжина шпонки залежить від форми шпонки:

$l_p = l$ - для шпонки з плоскими торцями;

$l_p = l - 0.5b$ - для шпонки з одним округлим і іншим плоским торцем;

$l_p = l - b$ - для шпонки з округлими торцями;

Допустиме напруження на змінання при постійному навантаженні з'єднання сталевого вала і шпонки залежно від матеріалу маточини приймають наступним:

При сталевій маточині $[\sigma_{\zeta}] = 100-150$ Н/мм²;

При чавунній і алюмінієвій $[\sigma_{\zeta}] = 60-90$ Н/мм²;

При текстолітовій і з древопластика $[\sigma_{\zeta}] = 15-25$ Н/мм²;

Приймаємо призматичну шпонку з округлими торцями.

Визначаємо робочу довжину шпонки:

$$l_p = l - b = 50 - 8 = 42 \text{ мм}$$

Приймаємо $[\sigma_{\zeta}] = 150$ Н/мм²

$$\sigma = \frac{2 \cdot 28 \cdot 10^3}{28 \cdot 42 \cdot (7 - 4)} \leq 150$$

$$\sigma = \frac{56 \cdot 10^3}{3528} \leq 150$$

Отримуємо $\sigma = 15,9 \text{ Н/мм}^2$, що значно менше допустимих 150 Н/мм^2
Тобто умова міцності шпонки на зминання виконується.

Остаточно приймаємо до використання призматичну шпонку з округлими кінцями $50 \times 8 \times 7$ відповідно стандарту.

2.3. Дослідження типових режимів енергоспоживання для комбінованого способу сушіння

Дослідження комбінованого способу сушіння обраного для проектуємої установки проводилось в лабораторіях кафедри для декількох типових режимів сушіння рослинної сировини. Для аналізу енергетичних витрат процесів комбінованого вологовидалення оберемо два типових для даного способу сушіння експерименти та проаналізуємо їх енергетичні показники.

Першим дослідженням оберемо експеримент з визначення величини впливу тривалості продувки шару обробленого в МХ камері нагріву вологого матеріалу на кількість видаленої вологи.

Експеримент проводився з використанням цедри грейпфрута, для визначення потенціалу використання комплексного способу сушіння. Використаємо дані досліджень доповнивши їх інформацією про енергоспоживання кожного з елементів дослідної установки.

В ході дослідження процесу сушіння цедри грейпфрута комбінованим способом здійснювався постійний МХ енергопідвід, але змінювався час продувки. В трьох дослідах продувка нагрітого в МХ полі матеріалу проводилась 10, 15 та 25 секунд. Питоме навантаження в кожному досліді було однаковим - $4,44 \text{ кВт/кг}$. Час МХ нагрівання складав 30 с в кожному досліді. Умовний час на транспортування зразка між зонами - 15 с. Початкова маса зразка складала 135 гр., початкова вологість зразка, за табличними даними прийнята 80 %. Споживаєма потужність складових стенда: МХ камери $N_{\text{МХ}}=1036 \text{ Вт}$.; вентилятора продувки $N_{\text{ВЕНТ}}=583 \text{ Вт}$.; інші споживачі $N_{\text{інші}}=28 \text{ Вт}$.

Другим дослідженням був експеримент з визначення впливу величини енергопідведення в МХ камері нагріву на кількість видаленої вологи.

Експеримент проводився з з аналогічним першому зразком цедри грейпфрута. Енергоспоживання елементів дослідної установки та їх кількість залишались аналогічними попередньому дослідженню.

В ході дослідження МХ енергопідвід, обирався різним але не змінювався час продувки, в усіх трьох дослідах продувка нагрітого в МХ полі матеріалу проводилась протягом 10 секунд. Питоме навантаження в кожному досліді було різним: 4,20, 4,62 та 4,36 кВт/кг. Час МХ нагрівання складав 15, 30 та 45 секунд відповідно. Умовний час на транспортування зразка між зонами - 15 с. Початкова маса зразка складала 143, 129,8 та 137,5 гр., початкова вологість зразка 80 %. За результатами проведених досліджень побудовано графіки відповідних залежностей.

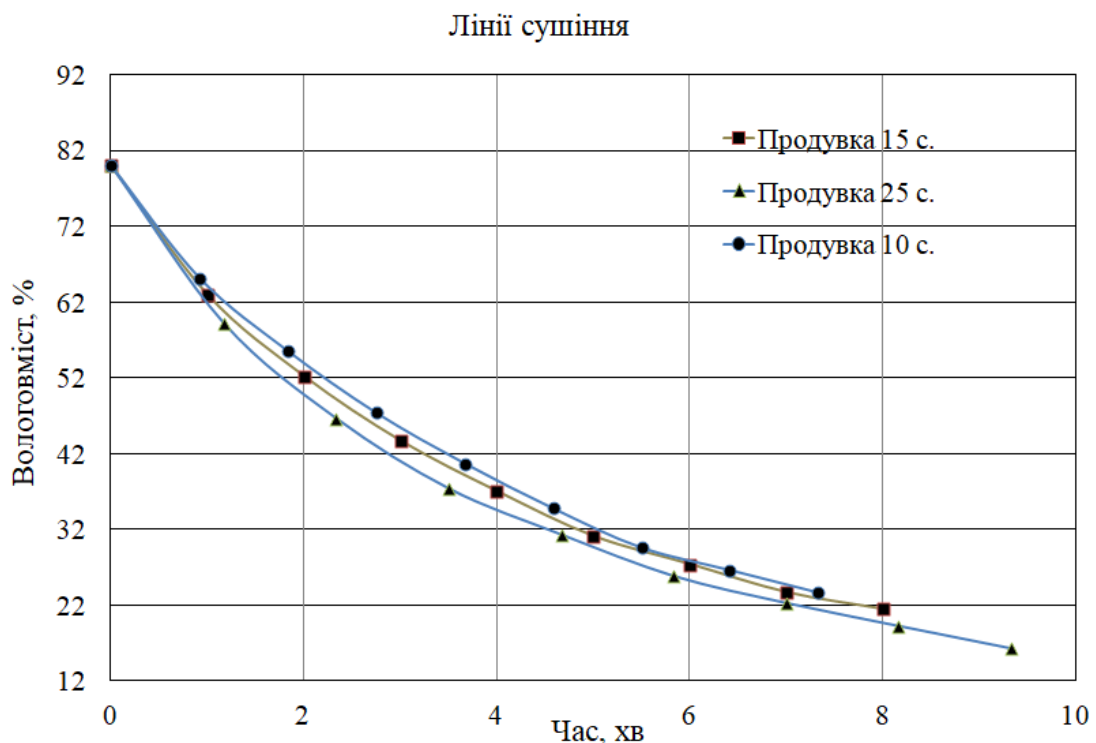


Рис.58. Лінії сушіння при постійному енергопідведенні але при різній тривалості продувки шару нагрітого вологого матеріалу.

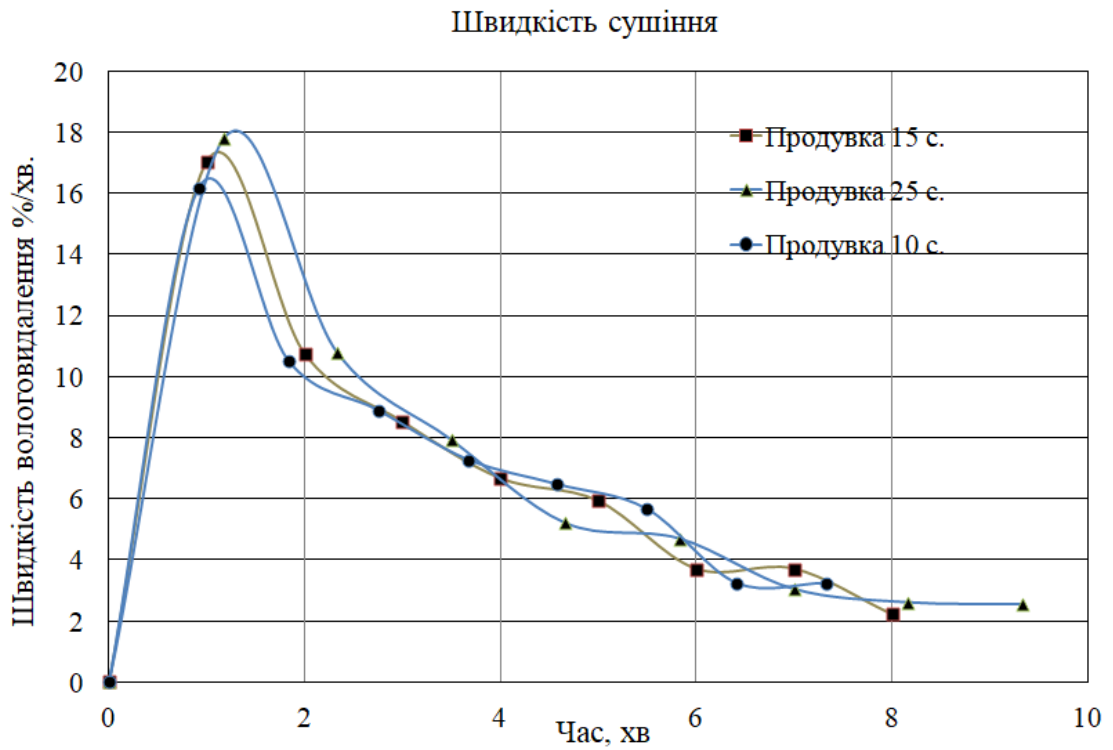


Рис.59. Графік зміни швидкості сушіння при постійному енергопідведенні але при різній тривалості продувки.

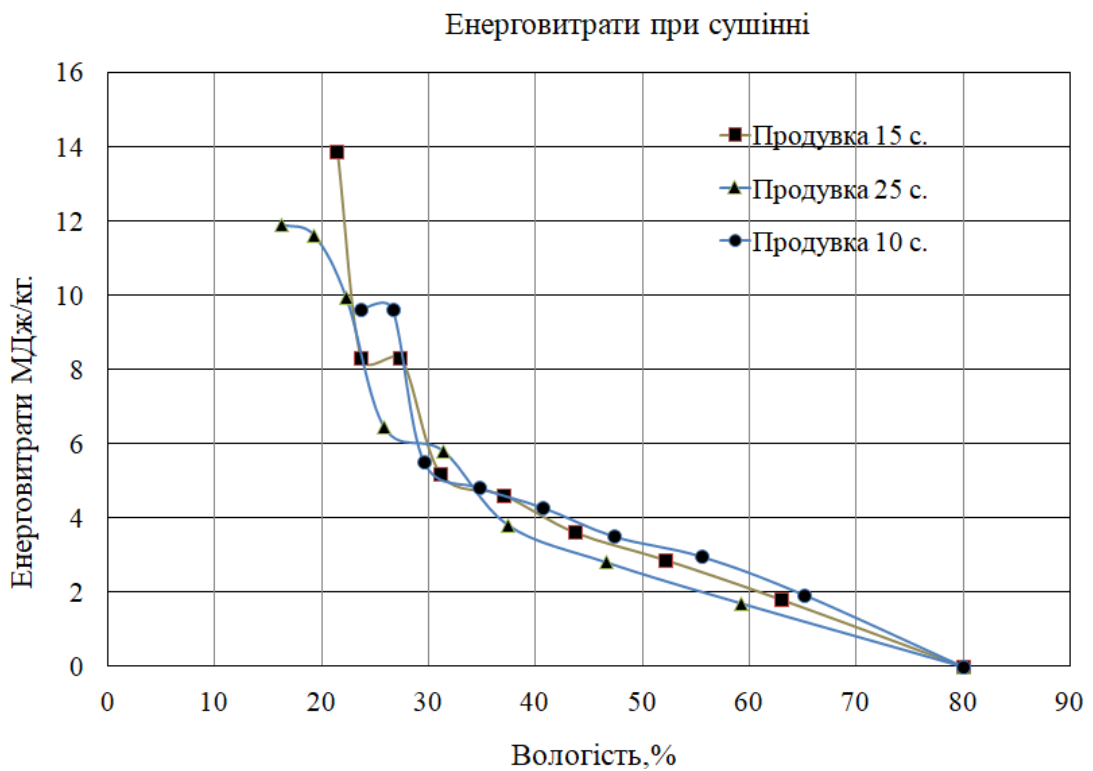


Рис.60. Графік зміни енерговитрат на видалення вологи при постійному енергопідведенні та різній тривалості продувки.

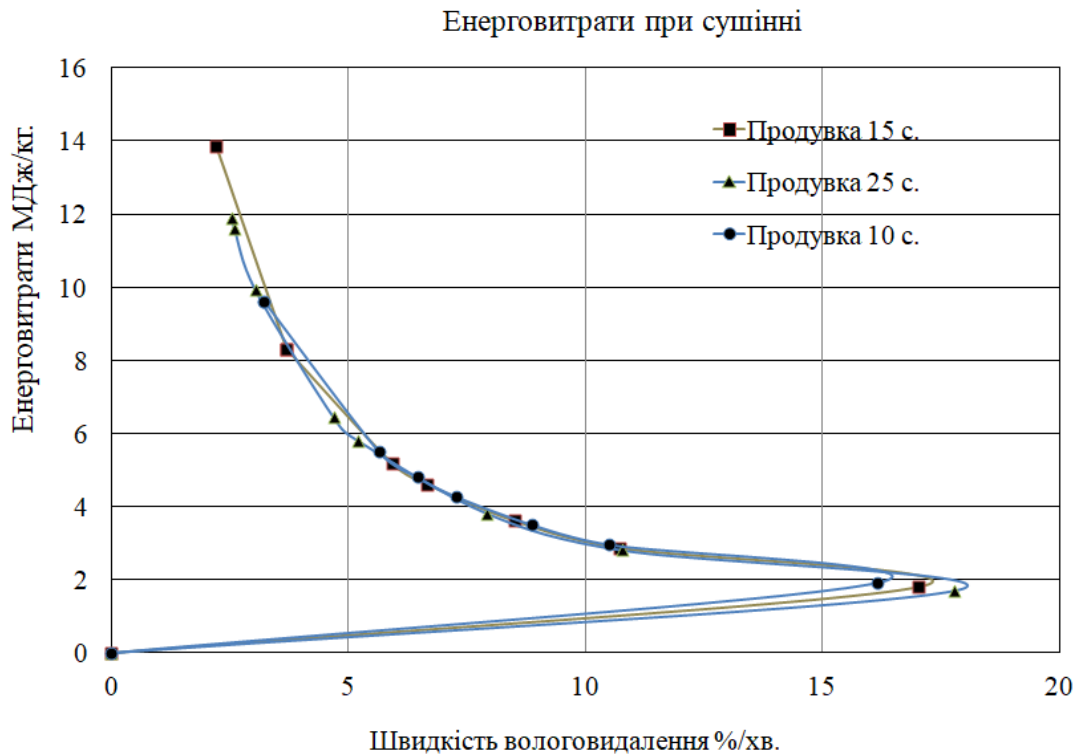


Рис.61. Графік залежності енерговитрат на видалення вологи від швидкості вологовидалення при різній тривалості продувки.

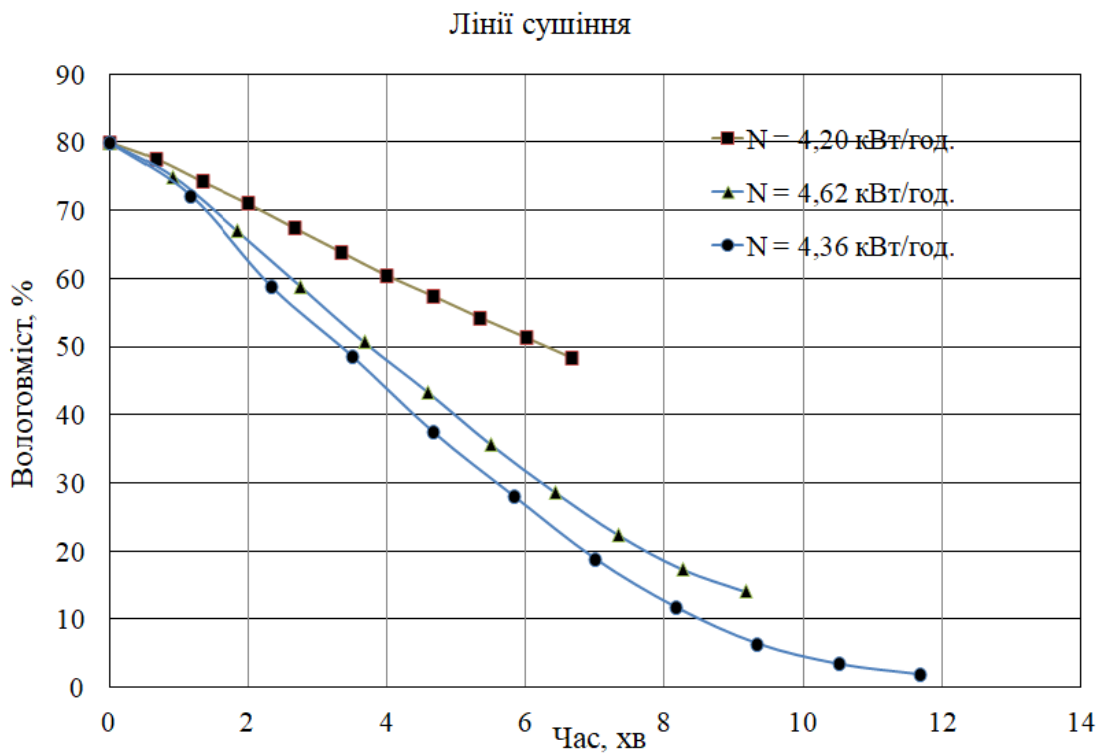


Рис.62. Лінії сушіння при різних рівнях енергопідведення та сталій тривалості продувки шару нагрітого вологого матеріалу.

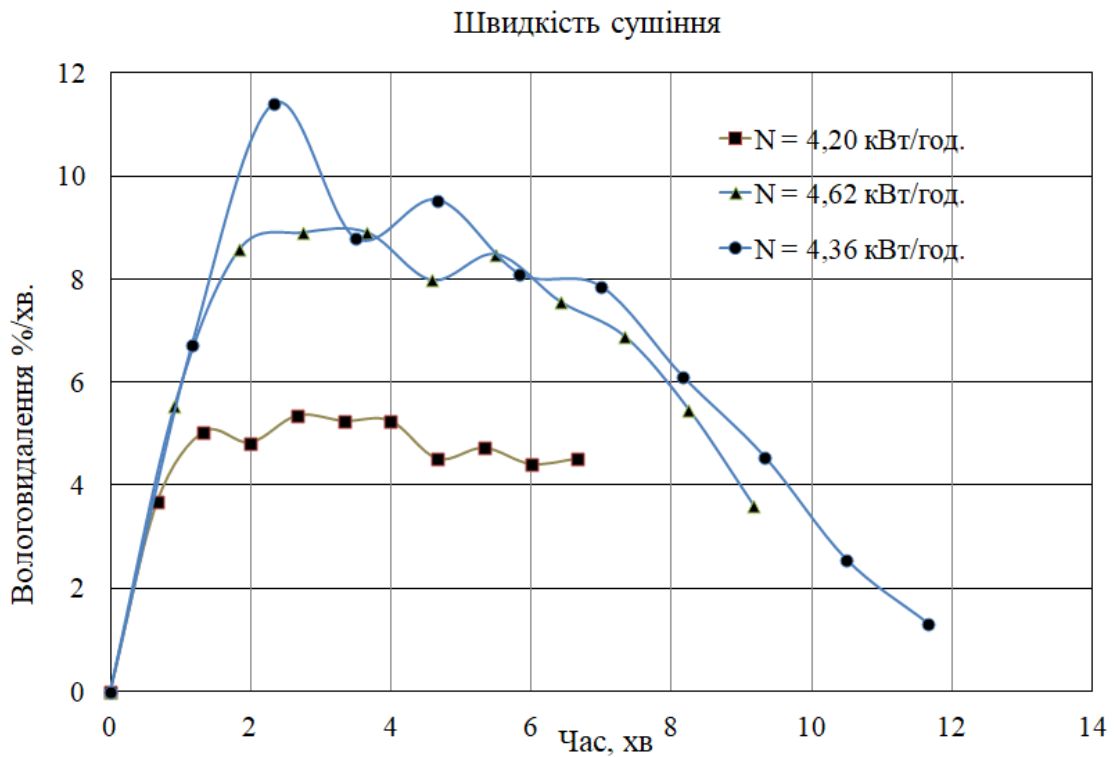


Рис.63. Графік зміни швидкості сушіння при різних рівнях енергопідведення та сталій тривалості продувки.

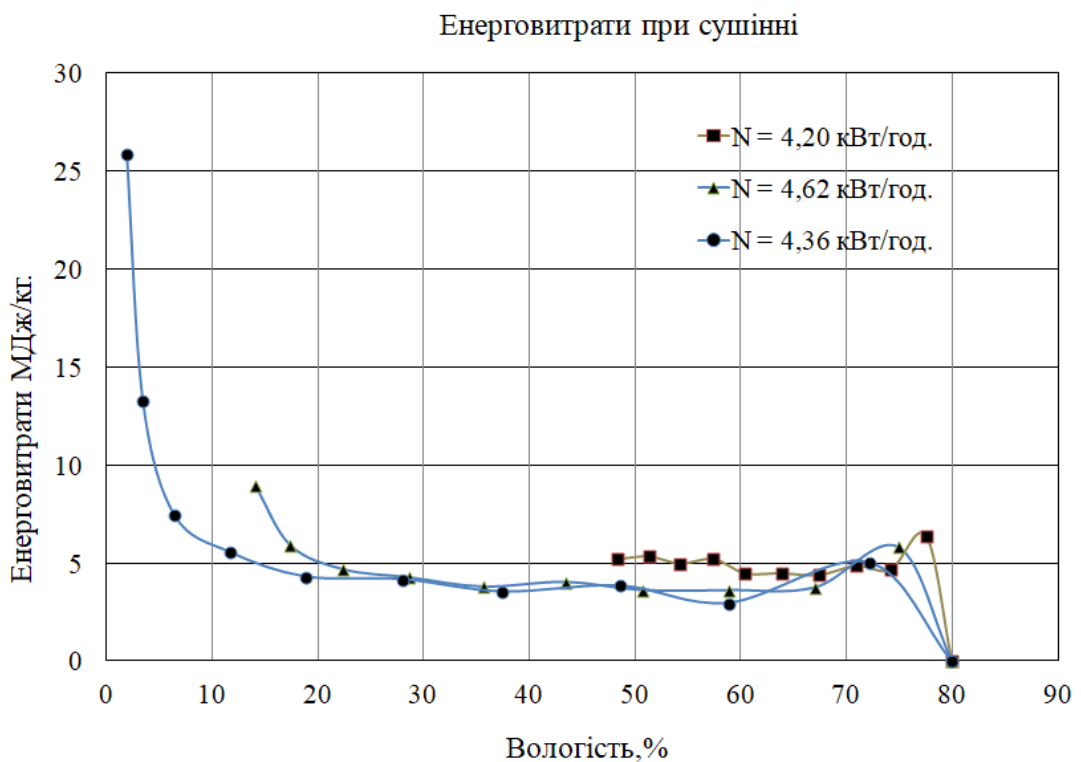


Рис.64. Графік зміни енерговитрат на видалення вологи при різних рівнях енергопідведення та сталій тривалості продувки.

Висновки за результатами аналізу енергетичних витрат процесу сушіння в установці з комбінованим способом вологовидалення та аналіз отриманих в ході дослідження залежностей.

1. Тривалість продувки мало впливає на кількість видаленої в ході сушіння вологи, доцільною тривалістю продувки можна обрати 5-10 с.
2. Максимальне видалення вологи проходить за першу половину тривалості процесу сушіння.
3. При питомому енергопідведенні в межах 4 кВт/кг вологого продукту інтенсивність видалення вологи дуже висока, за 4-5 хв., вологовидалення може складати до 2/3 від початкової вологості. Така інтенсивність характерна для цедри і обумовлена характеристиками самої сировини.
4. Швидкість сушіння для такої сировини як цедра може в максимумі досягати 16-18 %/хв., що може пояснюватись наявністю в ній великої кількості легколетючих речовин.
5. Енергетичні витрати на видалення вологи зростають після видалення основної частини вологи. В перших 2/3 процесу витрати лінійно збільшуються від 2 до 5 МДж/кг видаленої вологи а після досягнення рівня вологості 25-27 % стрімко зростають до 10-14 МДж/кг.
6. Найефективніше процес комбінованого сушіння проходить в його першій третині, при енерговитратах в межах 1-3 МДж/кг швидкість вологовидалення досягає свого максимуму – 16-18 %/хв.. Очевидно саме цей режим вологовідведення слід дослідити більш ретельно.

2.4. Розробка конструкції сушильної камери установки

Основою мікрохвильової сушильної установки є окремий сушильний модуль (сушильна камера), ескізний проект конструкції такого модуля представлений на рис. 65. Модуль складається з прямокутної сушильної камери, габарити якої відповідають моделі використання установки, наприклад (г/ш/в): 570x520x580.

З обох боків камери вбудовані технологічні вікна з фланцями для

з'єднання камери з тунелем або іншою камерою. Висота вікна має становити достатній простір для приєднання транспортних тунелів різної висоти. Збільшення висоти тунелю погіршить спільну роботу магнетронів камер, але надасть можливість обробляти більш габаритні ніж тонкий шар сипучої сировини матеріали, наприклад - стерилізувати упаковані продукти. Мінімальна висота вікна повинна становити 30 ... 40 мм, максимальна ~ 300 мм. Внутрішній простір камери повинен бути рівною, плоскою, гладкою поверхнею, незабарвленою, матеріал камери – нержавіюча сталь.

У верхній частині камери знаходяться магнетрони, хвилеводи спрямовані вертикально вниз, на стрічку конвеєра, по осі камери. Для мінімізації впливу магнетронів один на одного вони мають бути розвернені один відносно одного під кутом 90°.

Охолодження магнетрона проводиться окремим вентилятором, що знаходиться в МХ блоці. Для використання тепла магнетрону, яке генерується системою охолодження, у верхній частині камери розміщено вентиляційне вікно з отворів діаметром 2 мм, через яку проходить забір повітря з системи охолодження магнетронів в камеру.

Для продувки шару сировини в нижній площині камери виконано перфорацію у вигляді масиву отворів діаметром 2 мм до якого приєднується вхідний дифузор витяжної аспіраційної системи установки.

Схема управління сушильним модулем має передбачати лише прийом сигналів «пуск», «стоп», сигналів управління роботою магнетрона та формування сигналів від датчиків наявності продукту на вході камери та датчика температури шару на виході камери.

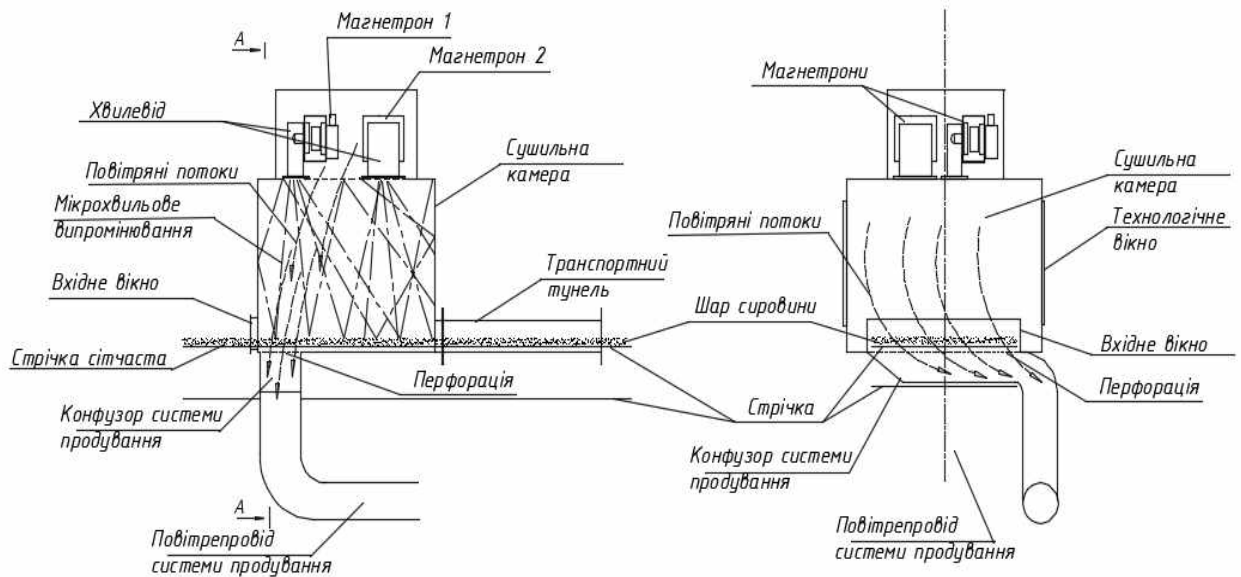


Рис. 65. Загальний вигляд сушильного модуля

Проведемо розрахунок технологічних параметрів модульної мікрохвильової сушарки виходячи з параметрів та залежностей отриманих в ході експериментального моделювання процесу мікрохвильового сушіння.

Вихідними даними для розрахунку конструктивних параметрів та технічних характеристик одиночного сушильного модулю для модульної мікрохвильової стрічкової сушарки є параметри мікрохвильової сушильної камери, потужність одиночного МХ генератора (магнетрона) або їх загальна кількість для отримання необхідної потужності випромінювання та параметри шару вологої сировини: тип сировини, навантаження на одну камеру та швидкість руху шару через зону сушіння.

1. Параметри потоку вологої сировини яка може оброблятися в потоці мікрохвильовими сушильними камерами визначаються з геометричної проекції сушильної камери, з врахуванням сервісних зон вздовж стрічки. Геометричні параметри сушильної камери модуля обмежені кратністю сторін до довжини хвилі спектру випромінювання генератора. Раніше було прийнято, що модулі матимуть **прямокутну сушильну камеру, габарити якої (L/W/H): 570x520x580.**

Ширина стрічки транспортуючого конвеєра при ширині камери 520 мм складатиме 500 мм. (беремо найближче типове значення), тоді **зона нагріву**

складатиме 570x500 мм. або 0,285 м². Довжина зони нагріву може бути дещо більшою при використанні в конструкції модулів з'єднувальних тунелів між сусідніми камерами.

2. В якості можливої *сировини для сушіння* в апараті приймаємо зернові та бобові культури з розміщенням на стрічці *шаром 20-30 мм.* та питомим *навантаженням на стрічку до 4,0 кг/м².* В нашому конкретному випадку оберемо як сировину насіння соняшника. При щільності насипного насіння соняшника в $\rho = 320 \text{ кг/м}^3$, питома вага шару в сушильній камері (МХ нагріву) складатиме:

$$G = (L * W * H) * \rho = (0.57 * 0.5 * 0.03) * 320 = 2.736 \text{ кг/м}^2 \quad (6.1)$$

Що не перевищує обраний ліміт в 4,0 кг/м², тобто умова виконується.

3. Потужність мікрохвильового випромінювання в експериментальному дослідженні складала до 33 кВт/м². При цьому процес протікав в допустимих межах, не перевищуючи температурних режимів сушіння для соняшника. В той же час в режимі стерилізації потоку сировини або при сушінні інших, менш вологих, культур буде можливим використати більшу потужність випромінювання. При потужності одного магнетрона промислового застосування на зразок «Microwave magnetron water cooled 3KW 2M290» [16], потужністю $N_{\text{MH}}=3000 \text{ Вт}$, при коефіцієнті перетворення електричної енергії в мікрохвильове випромінювання $\eta_{\text{MH}}=0,65$ (типове значення), питома потужність електромагнітного випромінювання прикладена до продукту, що знаходиться одномоментно на стрічці в камері нагріву на площі в $S= 0,285 \text{ м}^2$., складатиме:

$$N = N_{\text{MH}} * \eta_{\text{MH}} * S = 3000 * 0.65 * 0.285 = 6824 \text{ Вт/м}^2 \quad (6.2)$$

Що майже в 5 разів менше ніж потужність використана при експериментальному дослідженні. Таким чином для промислової мікрохвильової сушарки в якості джерела мікрохвильової енергії слід використати 2 (з умови симетричності), 4 або 6 магнетронів на кожну камеру для досягнення заданої питомої потужності випромінювання до 30 кВт/м².

4. Продуктивність сушарки залежить від вхідних параметрів вологої сировини і може змінюватись в залежності від бажаної кількості видаленої

вологи. Орієнтовна продуктивність яку має забезпечувати промислова сушарка даного типу залежатиме від вхідної вологості сировини, заданої вихідної вологості продукту та обраного режиму обробки і може становити *від 10-20 кг/год* для дуже вологих матеріалів при м'яких режимах обробки *до 50-100 кг/год* і більше в режимі досушування.

Продуктивність стрічкової сушарки є змінним параметром що регулюється шляхом зміни швидкості руху стрічки конвеєра через зони сушіння. В експериментальному дослідженні швидкість руху шару продукту через зони нагріву встановлювала в діапазоні $v_{\text{кн}}=0,0071 - 0,025$ м/с. Зважаючи на можливість використання установки в режимі досушування (високої продуктивності) оберемо максимальну швидкість стрічки конвеєра рівною $v_{\text{кн}}=0,03$ м/с.

5. Якщо ширина стрічки сушарки є конструктивно обмеженим параметром, то загальна довжина стрічкової сушарки може варіюватись в широких межах, так як залежить від способу використання модульного мікрохвильового сушильного апарату і кількості сушильних камер в ньому. Для конкретного варіанту використання сушарки можна визначити її загальні габаритні розміри входячи з характеристик одиночного модуля та розрахункових параметрів вологовидалення такого модуля. При габаритній довжині мікрохвильової камери $L_{\text{к}}=570$ мм, прийнявши довжину транспортного тунелю між камерами $L_{\text{т}}=230$ мм (виходячи з умови зручності монтажу камер), враховуючи довжину вхідного та вихідного шлюзів $L_{\text{ш}}$ до 500 мм, отримаємо загальну довжину 10 модульної сушарки:

$$L = 10 * (L_{\text{к}} + L_{\text{т}}) + 2 * L_{\text{ш}} = 10 * (0.57 + 0.23) + 2 * 0,5 = 8,0 \text{ м} \quad (6.3)$$

10 сушильних модулів обираємо в якості стандартного варіанту, для якого розрахуємо типові параметри продуктивності.

6. Зважаючи на обрані вхідні параметри, визначимо основні параметри стрічкового конвеєра мікрохвильової стрічкової сушарки.

Параметри стрічкового конвеєра визначаються вихідними даними:

- призначення: транспортування сипучої рослинної сировини з

максимальним питомим навантаженням на стрічку 3,0 кг/м².

- характеристика вантажу: рослинна сировина (горох, зерно, насіння соняшника, різані фрукти та овочі) розміщеної тонким рівномірним шаром з висотою насипу 20-30 мм.

- продуктивність: змінна.

- режим роботи: постійний, з регулюванням швидкості руху стрічки.

- схема транспортування вантажу: лінійна, горизонтальна.

- швидкість руху стрічки: 0,001-0,03 м/с.

- геометричні розміри конвеєра: ширина – 0,50 м, довжина – 8,0 м.

- додаткові умови: допустиме використання лише синтетичної стрічки, що не нагрівається в електромагнітному полі, також стрічка має бути сертифікована для використання з харчовими продуктами.

Слід зауважити, що конвеєр даної сушильної установки працюватиме у легкому режимі експлуатації.

Продуктивність конвеєра (Q) буде визначатись погонним навантаженням стрічки (G), що для стрічки шириною 0,5 м. складатиме $G=2.736*0.5=1.368$ кг/м², та її швидкістю ($V_{кн}=0,03$ м/с), тоді:

$$Q = 3600 * G * v_{кн} = 3600 * 1.368 * 0.03 = 147,74 \text{ кг/год} \quad (6.4)$$

Відповідно до експериментальних даних така продуктивність буде характерна для обробки насіння соняшника при початковій його вологості $W_{п}=23$ % в.в.

7. Визначимо величину вологовидалення для 10 модульної установки при обраному вище режимі роботи. Виходячи з максимальної швидкості стрічки конвеєра ($V_{кн}=0,03$ м/с) тривалість обробки мікрохвильовим випромінюванням при проходженні сировиною десяти сушильних камер з загальною довжиною зони нагріву $L_{н}=7$ м., складатиме:

$$T = \frac{L_{н}}{v_{кн}} = 7 * 0.03 = 233 \text{ с} = 3,9 \text{ хв} \quad (6.5)$$

При такій тривалості обробки T (при максимальній продуктивності процесу) та швидкості вологовидалення $V_{с}=1,0$ %/хв, зміна вологості складатиме:

$$\Delta W = T * v_c = 3,9 * 1,0 = 3,9 \% \text{ в.в.} \quad (6.6)$$

Для отримання більших значень вологовидалення слід пропорційно зменшувати продуктивність установки одночасно контролюючи максимальний нагрів сировини та не допускаючи її перегріву.

Всього на кожній з десяти камер встановлюється 2 або 4 магнетронів встановлених симетрично відносно осі камери та з поворотом хвилеводів сусідніх магнетронів на 90 градусів для зменшення взаємного впливу їх випромінювання.

Система керування сушильною установкою може бути реалізована у вигляді програмно-апаратного комплексу на основі програмно-логічного керування режимами роботи магнетронів сушильної камери, вентилятора системи продування та конвеєра сушарки.

Програма управління обладнанням повинна передбачати гнучке налаштування апаратної частини установки (кількість зон, кількість магнетронів, швидкість стрічки, а також налаштовуватися відповідно до типу технічного завдання, яке вирішує установка - від сушіння різної сировини до різних за інтенсивністю режимів стерилізації мікробіологічних компонентів продукту.

Табл. 6. Параметри стрічкової 10-ти модульної мікрохвильової сушарки

Споживаєма електрична потужність, кВт	11,0/22,0
Продуктивність сушіння, кг/год	75÷100
Продуктивність при стерилізації, кг/год	> 300
Зниження вологості (по зерну), %	12÷15
Швидкість стрічки, м/хв.	0÷3 (регулюється)
Висота вхідного вікна, мм	40

III. ЗАКЛЮЧНА ЧАСТИНА

3. Охорона праці та техніка безпеки при використанні мікрохвильових технологій

Для установок МХ обробки (сушіння) вологої сировини та матеріалів найбільш небезпечним фактором в їх обслуговуванні, як і для переважної більшості технологічного обладнання, є використання в таких установках електричної енергії. Для безпечної експлуатації МХ обладнання слід повно та чітко виконувати загальні вимоги до користування електричними установками з напругою до 1000 В.

Специфічним фактором для МХ установок є використання в них мікрохвильового випромінювання в діапазоні 2,4 МГц. Можливі і інші діапазони в залежності від типу використовуємих в них магнетронів, наприклад 915 МГц. Небезпечним цей фактор МХ установок робить неможливість для людини відчувати МХ випромінювання при його випромінюванні з несправної установки. Для забезпечення безпеки персоналу при використанні та обслуговуванні МХ установок необхідно ознайомити персонал з такими особливостями обладнання, не допускати використання обладнання в несправному стані (наприклад при незакритій МХ камері), слідкувати та перевіряти роботу елементів обладнання, що блокують можливість його небезпечної експлуатації, забезпечити робочий та обслуговуючий персонал спеціальними приладами – детекторами / сигналізаторами викидів МХ випромінювання (постійно діючими на робочих місцях та переносними для локального контролю), заборонити знаходження персоналу в зоні можливого впливу МХ випромінювання при роботі установки (в межах 1-3 м. від МХ випромінювачів та МХ камер).

Правила безпеки праці при експлуатації сушильних установок

Усі працівники, яких приймають на роботу і які в процесі роботи проходять на підприємстві навчання й інструктаж з питань охорони праці, вивчають правила надання першої і швидкої допомоги потерпілим від

нешчасного випадку, а також правила поведінки при виникненні аварії чи пожежі на підприємстві.

Відповідальність за керівництво роботою по охороні праці і техніку безпеки, проведення заходів щодо зниження і попередження виробничого травматизму і профзахворювань покладається на керівника підприємства. Відповідальним обличчям за охорону праці, техніку безпеки і виробничу санітарію є інженер (старший інженер) по техніці безпеки, підлеглий головному інженеру підприємства.

На підприємствах харчової і переробних галузей промисловості для працівників, що виконують роботи з обслуговування устаткування підвищеної небезпеки, обов'язково курсове навчання по безпечних методах роботи з обов'язковими іспитами, що проходить безпосередньо на виробництві по затвердженому керівництвом підприємства і погодженому з органами Держнагляду по охороні праці програмами. Це роботи з обслуговування парових і водонагрівальних апаратів; промислових печей та теплових установок, які працюють під тиском; компресорів; холодильних установок; газового устаткування; електричного оснащення.

Види та порядок проведення інструктажів з охорони праці визначені Типовим положенням про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці, затвердженому наказом Державного комітету України з нагляду за охороною праці № 15 від 26.01.2005 р.

Загальні положення з техніки безпеки

Під час пересування по території треба бути уважним, прислухатися до сигналів транспорту, що рухається.

При зустрічному русі працівникам слід триматися правої сторони.

Доторкатися до обірваних електропроводів та таких, що мають пошкоджену ізоляцію - забороняється.

Біля тросів, ланцюгів і канатів треба бути обережними.

Не слід наступати на кришки люків, різноманітні перекриття ям, канав та котлованів, щоб не впасти до них.

Необхідно вивчати попереджувальні знаки, звукову і світлову сигналізацію, що діють на території та в приміщенні закладу.

Забороняється:

Доторкатися до рухомих частин обладнання і спиратися на нього; користуватися рукавицями під час робіт, де є небезпека захоплення їх обертовими частинами; користуватися несправними засобами індивідуального захисту.

Доторкатися до оголених струмоведаччих і незахищених частин електроустаткування. У разі виявлення порушення ізоляції електропроводів, відкритих струмоведаччих частин електроустаткування або порушення заземлення треба негайно повідомити про це свого безпосереднього начальника для вжиття заходів щодо усунення несправності. Палити цигарки і кидати недопалки у приміщенні та на території закладу, установи забороняється.

Заходи по забезпеченню захисту працівників від дії шкідливих та небезпечних факторів. За безпеку праці на виробництві відповідає керівництво і для цього виділяє кошти на впровадження заходів по безпечному виконанню робіт. Так виробничі приміщення мають бути оснащені системою оповіщення щодо виникнення пожежі, а також системою пожежогасіння. Розміщення засобів пожежогасіння на території підприємства має бути оптимальним. Схема розміщення пожежних комплектів та вогнегасників має знаходитись на виду.

Дії у разі виникнення НС. На підприємстві можуть виникати різні НС, наприклад: травмування, вибух летких речовин (пилу), пожежа та інші. У разі виникнення НС треба приступити до її ліквідації (якщо це можливо і не загрожує життю), вивести людей з приміщення та при необхідності надати їм першу допомогу. Зателефонувати до МНС за номером 101 та за потреби викликати швидку допомогу для постраждалих.

Висновок. Проведено аналіз питань охорони праці на підприємстві та встановлено типові загрози та визначено дії для персоналу у разі цих загроз. Встановлено можливі шкідливі фактори на підприємстві з сушильними апаратами, а саме пил, шум, загазованість, вібрації. Визначено заходи щодо

уникнення чи захисту від дії шкідливих факторів.

4. Аналіз небезпечних для навколишнього середовища факторів, що можуть виникати при експлуатації установки

Сушильна установка з комбінованим енергопідведенням за своїм принципом роботи є виключно екологічною, так як не використовує жодних інших енергоносіїв окрім електричної енергії і відповідно не має відпрацьованих викидів.

Потоками, що виходять з установки в навколишнє середовище є виділена з матеріалу волога (пар та краплі води) які є безпечними, невелика кількість тепла, отримана в результаті охолодження нагрітих магнетронів та сам висушений продукт. Зовнішнє МХ випромінювання в справній сушильній установці відсутнє і відповідно ніякого впливу на навколишнє середовище не несе.

Інших викидів МХ установки не мають, тож вони екологічно безпечні для навколишнього середовища.

ВИСНОВКИ

У результаті дипломного проектування проаналізовано та систематизовано інформацію про сучасний стан технологій мікрохвильового та комбінованого сушіння сировини в харчовій та переробній промисловості.

Проаналізовано та обрано основні конструктивні схеми для проектування та розробки стрічкового мікрохвильового сушильного пристрою.

За результатами аналізу конструкцій подібних пристроїв прийнято деталізовані рішення щодо устрою основного елемента промислової мікрохвильової сушильної установки для мікрохвильового способу сушіння.

Розроблено конструкцію сушильного модуля, виконано технічний ескіз зовнішнього вигляду промислової версії такого модуля, розраховано технічні параметри для мікрохвильової 10 – модульної стрічкової сушильної установки.

ВИКОРИСТАНІ ЛІТЕРАТУРНІ ДЖЕРЕЛА

1. Бурдо, О. Г. Эволюция сушильных установок [Текст] : монография / Бурдо Олег Григорьевич. - Одесса : Полиграф, 2010. - 368 с. : табл., рис. - Библиогр.: 122 назв. - ISBN 978-966-8788-98-7.

2. Яровий І. І. Інноваційні енергоефективні технології сушіння соняшника / І. І. Яровий, О. І. Маренченко // Енергія. Бізнес. Комфорт: матеріали наук.-практ. конф., Одеса, 16 листоп. 2017 р. / Одес. нац. акад. харч. технологій, Консалтинг. лаб. «Терма». – Одеса, 2017. – С. 30–32 : рис. – Бібліогр.: 1 назв.

3. Математическая модель микроволновой ленточной сушилки / О. Г. Бурдо, Е. И. Маренченко, Е. А. Пилипенко, В. В. Балагура // Інноваційні енерготехнології - 2017: зб. пр. VI Міжнар. наук.-практ. конф., Одеса, 4-8 верес. 2017 р. / Одес. нац. акад. харч. технологій. - Одеса, 2017. – С. 381–389 : табл., рис. – Библиогр.: 3 назв.

4. Інноваційні способи енергопідводу у процесах сушіння термолабільної сировини / І. І. Яровий, М. А. Кашкано, О. І. Маренченко, Є. О. Пилипенко // Інноваційні енерготехнології – 2019: зб. пр. VII Міжнар. наук.-практ. конф., Одеса, 9–13 верес. 2019 р. / Одес. нац. акад. харч. технологій ; – Одеса, 2019. – С. 17–23 : рис. – Бібліогр.: 9 назв.

5. Безбах, І., Яровий, І., & Войтенко, О. (2019). Комбіновані способи енергопідведення в процесах сушіння рослинної сировини. Scientific Works, 83(2), 71-77.

6. Анатазевич В. И. Сушка пищевых продуктов : справ. пособие / Анатазевич В. И. - М. : ДеЛи, 2000. - 296 с.

7. Гинзбург А.С. Современные проблемы теории и техники сушки пищевых продуктов / А.С. Гинзбург, А.П. Рысин // Труды ВНИЭКИПРОДМАШ. - М., 1981. - № 56.- С. 3-14.

8. Бандура В. М., Яровий І. І., Маренченко О. І., Пилипенко Є. О. Апарати для сушіння рослинної сировини електромагнітним полем. Наукові праці ОНАХТ. 2018. Т. 82, Вип. 2. С. 123-129.

9. Аналіз сучасних способів сушіння рослинної сировини та існуючі конструкції сушильного устаткування / С.М. Сабадаш, М.Ю. Савченко-Перерва //Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Механізація та автоматизація виробничих процесів.-2017.-Вип. 10.-С. 134-137.

10. Розрахунки та проектування транспортних засобів безперервної дії / В.А. Будишевський, А.І. Барішев, Н.А. Склярів, А.А. Суліма, О.М. Ткачук. – Донецьк: Норд-Прес, 2005. – 689 с.

11. Присяжнюк, Д. В. Обґрунтування параметрів процесу та розробка віброозонуючого комплексу для сушіння зернової сировини [Текст] : Дис. ... канд. техн. наук : 05.05.11 / Присяжнюк Дмитро Володимирович ; Вінниц. нац. аграр. ун-т. - Вінниця, 2019. - 250 с. : рис., табл.

12. Мерко І.Т. Наукові основи і технологія переробки зерна. Одеса, 2001. 348с.

13. Шутюк, В. В. Застосування мікрохвильового випромінювання для сушіння харчових продуктів / В. В. Шутюк // Наукові праці НУХТ. – К. : НУХТ, 2015. – Т. 21, № 3. - С.133-140.

14. Виробник мікрохвильових сушарок. [Електронний ресурс]. Режим доступу <http://www.kerone.com/microwave-heating-dryer.php>

15. Виробник мікрохвильового обладнання. [Електронний ресурс]. Режим доступу <https://www.microwavedrying.net>.

16. Виробник мікрохвильового обладнання. Компанія «Jiaxing Jieda Microwave Equipment Co., Ltd». [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.alibaba.com/product-detail/Magnetron-TOSHIBA-E3328-Industrial-magnetron-3KW_1600704266043.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal_offer.d_image.5b158be0uSDu1E

17. Виробник конвеєрних стрічок. [Електронний ресурс]. Режим доступу <https://abctech.com.ua/ua/p1653562802-teflonovaya-lenta-konvejernaya.html>

18. Виробник редукторів. [Електронний ресурс]. Режим доступу <https://ems.kh.ua/mch2>