

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ПОЛТАВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА  
ІМЕНІ ЮРІЯ КОНДРАТЮКА»  
КАФЕДРА ТЕПЛОГАЗОПОСТАЧАННЯ, ВЕНТИЛЯЦІЇ ТА ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ

## Пояснювальна записка

до дипломної роботи бакалавра

на тему: **ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ  
СУШКИ СИРОВИНИ В ЛАБОРАТОРНИХ УМОВАХ**

Виконав: студент 4 курсу,  
групи 401-НТ  
напряму підготовки (спеціальності)  
144 Теплоенергетика

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

**Погорелий К.Ю.**

(прізвище та ініціали)

Керівник Гузик Д.В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент \_\_\_\_\_

(прізвище та ініціали)

Зав. кафедрою Голік Ю.С.

(прізвище та ініціали)

Полтава – 2023 року

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

(повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет, відділення навчально-науковий інститут нафти і газу

Кафедра, циклова комісія кафедра теплогазопостачання, вентиляції та теплоенергетики

Освітньо-кваліфікаційний рівень бакалавр

Напрямок підготовки \_\_\_\_\_

(шифр і назва)

Спеціальність 144 «Теплоенергетика»

(шифр і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
**Завідувач кафедри**  
**теплогазопостачання, вентиляції та**  
**теплоенергетики**

Голік Ю.С.

" \_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2023 року

### **ЗАВДАННЯ НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Погорелому Кирилу Юрійовичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: **“Експериментальні дослідження процесів сушки сировини в лабораторних умовах”**  
керівник роботи Гузик Д.В., к.т.н., доцент

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

затвержені наказом вищого навчального закладу **№497 ф-авід " 18 " серпня** 2023 року \_\_\_\_\_

2. Строк подання студентом роботи 17.06. 2023 року

3. Вихідні дані до роботи: завдання на проектування видане керівником кваліфікаційної роботи бакалавра, рекомендований регламент технології сушіння фруктів (мандаринів), лабораторний стенд для проведення експериментів камерної конвективної сушки сировини який знаходиться в лабораторії кафедри теплогазопостачання вентиляції, та теплоенергетики Національного університету «Полтавська політехніка імені Ю.Кондратюка»

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Огляд літературних джерел. Вступ. Овочі та фрукти як сировина для сушіння. Основні типи й конструкції сушарок. Стенд для проведення експериментів, та його перевірка на аеродинамічні та температурні показники. Дослідження процесів сушіння фруктів (на прикладі мандарин).

Технологічні вимоги до сушіння мандарин. Висновки по роботі та дослідам.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень): Загальні відомості. Види сушарок. Склад стенду. Контрольно-вимірювальні прилади. Перевірка лабораторного стенду на аеродинамічні та температурні показники. Проведення дослідів. Аналіз дослідів. Висновки по роботі.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Фахова частина	Гузик Д.В., к.т.н., доцент	17.04. 2023	17.06. 2023

7. Дата видачі завдання 17.04.2023 р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1	Огляд літературних джерел. Вступ. Овочі та фрукти як сировина для сушіння.	15.09 – 25.09.2020	
2	Основні типи й конструкції сушарок. Контактні та конвективні сушарки. Спеціальні методи сушіння.	26.09 – 15.10. 2020	
3	Стенд для проведення експериментів. Його склад та будова. Перевірка лабораторного стенду на аеродинамічні та температурні показники.	16.10 – 19.11. 2020	
4	Дослідження процесів сушіння фруктів (на прикладі мандарин). Технологічні вимоги до сушіння мандарин. Проведення та аналіз дослідів.	20.11 – 22.12. 2020	
5	Висновки по роботі. Література. Здача роботи на перевірку	24.12. 2020	

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Погорелий К. Ю.  
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
(підпис)

Гузик Д.В.  
(прізвище та ініціали)



## ЗМІСТ

ВСТУП	3
РОЗДІЛ 1 ОВОЧІ ТА ФРУКТИ ЯК СИРОВИНА ДЛЯ СУШІННЯ	6
1.1 Загальні відомості	6
1.2 Технологічні вимоги до сировини для сушіння	8
РОЗДІЛ 2 ОСНОВНІ ТИПИ Й КОНСТРУКЦІЇ СУШАРОК	16
2.1 Основні типи й конструкції сушарок	16
2.2 Контактні сушарки	17
2.3 Конвективні сушарки	21
2.4 Спеціальні методи сушіння	35
РОЗДІЛ 3 СТЕНД ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТІВ	38
3.1 Склад стенду	38
3.1.1 Сушильна камера	39
3.1.2 Повітряний нагнітач Systemair	41
3.1.3 Електричний калорифер Aerostar	43
3.1.4 Контрольно вимірювальні пристрої	43
3.2 Перевірка лабораторного стенду на аеродинамічні та температурні показники	47
3.2.1 Перевірка лабораторного стенду на аеродинамічні показники	48
3.2.2 Дослідження температурного режиму	49
РОЗДІЛ 4 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ СУШІННЯ ФРУКТІВ (МАНДАРИН)	51
4.1 Проведення та аналіз дослідів	53
ВИСНОВКИ	72
ЛІТЕРАТУРА	73

<b>ДР.401-НТ.№19061.ПЗ</b>					
Зм.	Кіль.	Арк.	№док.	Підпи.	Дат.
Розробив	Погорелий				
Керівник	Гузик Л.В.				
Зав. каф.	Голік Ю.С.				
Н. Контр.	Гузик Л.В.				
<b>Експериментальні дослідження процесів сушки сировини в</b>			Сталія	Аркиші	АркишіВ
			ДР	2	74
			НУПП Кафедра ТГВтаТ м. Полтава		



даних видів продуктів є силові структури, харчоконцентратні виробництва, спеціальний контингент ( геологи, спортсмени, космонавти) тощо[2].

Сьогодні потреба в сушених овочах і овочевих наборах постала особливо гостро для військових, умови діяльності яких вимагають швидкого й спрощеного приготування їжі.

В наш час є актуальним використання сушених овочів та фруктів, так як це нам дає змогу:

- зберегти корисні властивості матеріалу;
- подовжити термін придатності;
- зменшити площі та об'єми приміщень для зберігання продукції;
- зменшення ваги та об'єму продуктів для легшого транспортування, наприклад, в туризмі, для військових та інше;

Розробка нових технологій для збереження сировини необхідна для зниження енерговитрат та отримання продукції кращої якості і поживної цінності.

В більшості технологічних процесів промисловості дуже широко використовується процес сушіння. Сушити можна різноманітні матеріали на різних стадіях їх переробки.

Мета сушіння, є покращення фізичних та механічних якостей сировини або надання нових, зниження ваги сировини, покращення транспортабельності сировини, тощо. Однією з найголовніших проблем сьогодення є економія енергоресурсів, залучення в сферу їх виробництва нетрадиційних джерел, впровадження енергозберігаючих технологій.

Як зазначає джерело [3] статистика свідчить, енергоємність технологічних процесів в Україні є у 3-5 разів вищою, ніж у розвинених країнах. В більшості випадків для процесів сушіння витрачається у 2-3 рази більше енергоресурсів від необхідних для перетворення вологи у пару, що говорить про недосконалість технології сушіння. В багатьох випадках технологічні режими процесу сушіння та обладнання розраховують на основі емпіричних залежностей, що призводить до значних розбіжностей між прогнозованими параметрами процесу і реальними [3].



# РОЗДІЛ 1 ОВОЧІ ТА ФРУКТИ ЯК СИРОВИНА ДЛЯ СУШІННЯ

## 1.1 Загальні відомості

З давніх часів сушіння овочів і фруктів має велике значення. Так в Україні як промисел сушіння овочів стало поширюватися в селах наприкінці 19 — на початку 20 ст.

Так як свіжі продукти (наприклад, овочі та фрукти) містять приблизно 75—90 % води, тому вони легко псуються, швидко в'януть, загнивають. Коли штучно зменшують вміст води в картоплі й овочах до 12—14 %, то вони набувають стійкості до дії мікроорганізмів, не псуються та у відповідних умовах можуть довго зберігатися протягом тривалого часу. Крім того об'єм сушених овочів і плодів у 3—5 разів менший, ніж свіжих, а маса становить від 1/5 до 1/17 маси сировини.

При правильному та научно обгрунтованому підборі сортів сировини, правильній організації технологічного процесу виробництва і збереження смак і поживна цінність сушених овочів і фруктів залишається високою, а витрати праці і час на їхню кулінарну обробку менші.

Для виробників сільськогосподарської продукції зручно використовувати сушені овочі, картоплю і фрукти для виробництва харчових концентратів, для постачання експедицій, у громадському й індивідуальному харчуванні: сушена картопля, сушені овочі (морква, цибуля, буряк, капуста, білі корінці, пряна зелень, зелений горошок, часник тощо), сухе картопляне пюре, картопляні крекери.

Зараз трендовим напрямом в овочесушінні й зневоднюванні фруктів і ягід є впроваджуване в даний час виробництво сухих пюреподібних продуктів у вигляді крупки, пластівців, гранул і порошоків, що знаходять широке застосування у виробництві дитячого і дієтичного харчування, у громадському харчуванні та у індивідуальних споживачів.

Видалити вологу при сушінні сировини можна: механічним, фізико-хімічним і термічним. При першому способі волога віджимається в пресі або центрифугі. Фізико-хімічні методи засновані на застосуванні десикантів і використовуються в основному в лабораторній практиці. Зневоднювачі включають сірчану кислоту, хлорид кальцію та силікагель. В умовах термічної обробки волога випаровується з поверхні матеріалу і дифундує в навколишнє повітря, забираючи вологу в сушарці. Таким чином, сушіння - це термічний процес видалення вологи з матеріалу шляхом випаровування і дифузії.

Сам процес осушення сировини є процесом термічної дифузії. Волога дифундує із середнього шару матеріалу на поверхню, проходить через прикордонну плівку, а потім дифундує до середини газової фази, забираючи велику кількість теплової енергії з матеріалу. В Україні на сушіння використовується близько 15% палива, а багато сушильних установок мають енергоефективність лише 25-50%, тому вдосконалення технології та енергоефективності процесу сушіння має велике значення для народного господарства.

Зараз поширено два головні способи сушіння: природне і штучне. Перший спосіб проводиться на відкритому повітрі без примусового нагрівання і видалення сушильного агента (повітря). Як приклад природного сушіння це може бути сушіння яблук в домашніх умовах на відкритому повітрі, або ж на промисловому рівні це сушіння кухонної солі у відкритих морських водоймах. Даний спосіб сушіння сировини характеризується значною тривалістю, а сам процес висушування ніяк не регулюється і отримуваний кінцевий матеріал є достатньо вологим.

Виявлено економічно доцільним у промисловості застосування штучного сушіння, що передбачає сушіння сировини нагрітим сушильним агентом (нагріте повітря, димові газ), який поглинає вологу з матеріалу а потім його видаляють з сушильної камери за допомогою спеціальних витяжних вентагрегатів.

Адже для більшості виробництв пов'язаних з харчовою промисловістю сушіння сировини є одним із основних процесів, метою якого є збільшення терміну придатності під час зберігання, покращення якісних показників, консервування та зменшення маси з метою транспортування кінцевого продукту виробництва.

Самі методи сушіння вологих матеріалів розрізняються переважно способом підведення теплоти (агента сушки) й зумовлені фізико-хімічними властивостями цих матеріалів, а також їх зв'язку з вологою. Частіше застосовують метод конвективного сушіння, що характеризується безпосереднім контактом матеріалу з потоком нагрітого газу (повітря, димові гази та т.п.).

Іноді у харчових виробництвах, контактний (кондуктивний) метод сушіння, за якого теплота від теплоносія (звичайно водяної пари) до матеріалу передається через металеву стінку.

При проведенні процесів сушки матеріалів які дуже чутливі до температури застосовують сублімацію, при якій волога з замороженого матеріалу змінює свій фазовий стан і переходить у пар. При цьому цей процес проходить при глибокому вакуумі[12].

## **1.2 Технологічні вимоги до сировини для сушіння**

Для отримання якісної продукції - висушених овочів і фруктів та забезпечення високих техніко-економічних показників виробництва велике значення має її сорт. Сорти сировини для сушіння підбирають залежно від особливостей кліматичних і ґрунтових умов.

Перед тим як відправити речовину на сушіння вивчають його агробіологічні і хіміко-технологічні показники. До перших показників належать врожайність, товарність сировини (відсоток стандартних бульб чи коренеплодів), засухо-, морозовитривалість, скоростиглість, імунітет (несприйнятливість до

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат.

ДР.401-НТ.№19061.ПЗ

Арк.

8

захворювань), а також стійкість проти дії сільськогосподарських шкідників, рівномірність знімання врожаю і придатність до механізованого збирання.

До других показників якості сировини належить колір і стійкість під час переробки, форма плодів, індекс форми (відношення висоти плоду до його середнього діаметра), середня маса, стійкість проти механічних впливів, здатність зберігатися без помітного погіршення якості (лежкість), співвідношення частин плоду (шкірочка, м'якоть, насіння) також хімічний склад та інш.

Проведення повної технологічної оцінки сортів потребує виготовлення дослідної партії сушених продуктів, які потім піддають дегустації у відновленому вигляді (після варіння), а також збереженню з метою визначення гарантійного терміну й умов збереження, виду тари для розфасовки. Сировина, що надходить на сушіння, повинна бути в стадії технічної спілості, яка визначається за розміром бульб чи плоду, їх щільністю, кольорам, смаком, ароматом.

Сушать тільки доброякісну сировину. Крім тоговідзначених загальних вимог, що ставляться до сировини для сушіння, окремі види сировини повинні мати особливі специфічні властивості.

Картопля. Так для її сушіння використовують високоврожайні стійкі до раку сорти картоплі, що містять велику кількість сухих речовин у бульбах і мають добру лежкість. Обирають зразки округлої чи трохи приплющеної форми, великих і середніх розмірів з невеликою кількістю і неглибоким заляганням вічок. Велике значення також має якість картоплі (відсутність механічних ушкоджень, уражень хворобами і шкідниками), тому що від цього залежить вихід готового продукту.

Висушена картопля повинна мати красивий зовнішній вигляд, при замочуванні у воді, набухаючи, збільшуватись у 2,4—2,8 раза, під час варіння швидко розварюватися і бути смачною. До діючого чинного стандарту на картоплю свіжу, заготівлі підлягають бульби зрілі осіннього збирання, сухі, без захворювань і наростів, однорідні щодо забарвлення з міцною загрубілою шкірочкою. Розмір у найбільшому поперечному вимірі повинен бути не менше 5-ти см.

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат.

ДР.401-НТ.№19061.ПЗ

Арк.

9

Допускаються такі відхилення у якості бульб: ушкоджених сільськогосподарськими шкідниками - не більше 2 відсотки; уражених паршою, - не більше 5 см. квадратних.; наявність прилиплої землі, — не більше 1 см. квадратних. Не допускаються до заготівлі бульби підморожені, позеленілі, з наростами, зів'ялі, запарені, з ознаками проростання, із землею і сміттям, незрілі.

Геометричні параметри (розмір, форма) і маса бульб мають важливе значення для виробництва, тому що при переробці середньої (5—6 см) і великої (понад 6 см у найбільшому поперечному вимірі) картоплі підвищується продуктивність підготовчого відділення овочесушильного заводу. Переробка дрібних бульб (менше 4 см у найбільшому поперечному вимірі) стає нерентабельною, тому що збільшується кількість відходів та зменшується продуктивність праці на доочищенні.

При застосуванні механічного способу очищення картоплі для зменшення кількості відходів важливо, щоб бульби мали кулясту, а не довгасту форму. При пароводотермічній або водопаровій підготовці картоплі до сушіння бажано застосовувати бульби опукло-овальної форми.

Так як найтрудомісткішою немеханізованою операцією при підготовці картоплі до сушіння є видалення вічок, варто віддавати перевагу сортам картоплі, у яких на одній бульбі є не більше 5 вічок.

Кольорові ознаки м'якоті картоплі, застосовуваної для сушіння, повинен бути білий або світло-кремовий; сорти з жовтою, рожевою чи зеленуватою м'якоттю для сушіння не придатні; хімічний склад картоплі залежить від ряду факторів: сорту, місця її виростання, ґрунтових і кліматичних умов під час вегетації й великою мірою — від застосовуваної агротехніки.

Завеликий вміст сухих речовин сприяє одержанню високих виходів готового продукту, а отже, зменшенню витрат сировини, палива, праці і зниженню собівартості кінцевого продукту сушіння.

Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат

ДР.401-НТ.№19061.ПЗ

Арк.

10

Як відомо основною поживною речовиною картоплі є крохмаль; у сухій речовині бульб її до 80 %. Крохмаль міститься в клітинах картоплі у вигляді круглих чи овальних зерен розміром 0,05—0,1 міліметрів.

Сам вміст цукрів у бульбах і їхнє співвідношення залежать від сорту картоплі, ступеня спілості й умов збереження. Збереження картоплі в умовах низької температури вміст цукрів збільшується. В ній переважно міститься глюкоза, у меншій кількості — цукроза і дуже небагато фруктози. Завеликий вміст цукрів у картоплі небажаний, оскільки пов'язаний із зайвими втратами сухих речовин і погіршенням кольору, смаку і терміну зберігання висушених продуктів. У свіжій картоплі кількість цукрів відносно невелика. При збереженні вона зростає, причому швидше при більш низькій температурі. Температура в сховищах пов'язана з тривалістю збереження картоплі.

Кількість цукрів у картоплі, що надходить на сушіння, залежить також від способу підготовки, так при механічному способі підготовки сировини до сушіння в результаті очищення, різання картоплі, промивання і бланшування стовпчиків чи кубиків парою, вміст цукрів зменшується на 30 %. Зменшення змісту цукрів за рахунок вимивання небажане, оскільки разом з цукрами видаляються вітаміни, амінокислоти, органічні кислоти й інші цінні компоненти, що збіднює готовий сушений продукт і знижує його харчову привабливість.

При підготовці картоплі до сушіння (бланшування цілих бульб з наступним очищенням і різанням) цукри з картоплі майже не вимиваються і в ній не накопичуються, якщо тканина бульб нагріта до температури не нижче 75 градусів Цельсія. При бланшування картоплі бульбами з попередньою тепловою обробкою (миття теплою водою) можна також знизити вміст цукрів у результаті завершення процесів, які раніше почалися.

**Коренеплоди.** Зараз для сушки використовують такі коренеплоди, як морква, буряк, петрушка, пастернак, селера та інші.

Морква найбільш придатна для сушіння так як особливо коренеплоди столових сортів мають такі переваги як те що вони: напівдовгі, усічено-конічні чи

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат.

ДР.401-НТ.№19061.ПЗ

Арк.

11

циліндричні, середньовеликі від оранжево-червоного до червоного кольору, без помітної серцевини і без грубих судинно-волокнистих сплетінь. Саме морква є джерелом каротину, солей кальцію, фосфору і заліза, а також вітамінів В1, РР, В2, В6 і С.

Вміст сухих речовин для моркви не менше 13 %, з яких цукру - 4— 6 %. У моркві міститься, %, жиру - 0,29, клітковини - 1,2.

При проведенні процесів сушіння необхідно враховувати той чинник, що її коренеплід складається з двох шарів: зовнішнього і внутрішнього.

Столовий буряк (великі чи середні коренеплоди) де кращими сортами для сушіння є Бордо, Незрівнянний, Грибовський, Донський та інші.

Коренеплоди вибрані для сушіння повинні бути свіжими, цілими, без захворювань, незабрудненими, не тріснутими, без ушкоджень сільськогосподарськими шкідниками, одного ботанічного сорту, з довжиною черешків, що залишилися, не більше 20 мм. Допускається невелика кількість коренеплодів з відхиленнями від цих розмірів та з механічними ушкодженнями.

Петрушку вирощують в основному кореневих сортів, у яких для сушіння використовують і корені, і листи.

Коренеплодам пастернаку притаманний солодкуватий приємний смак, сірувато-біле забарвлення на поверхні та білу м'якоть.

Крім того для сушки використовують молоді рослини зелені: кропу, петрушки, селери і пастернаку.

**Інші овочі.** Цибулю ріпчасту застосовують як сировину для сушіння тільки гострих сортів, які містять не менше 14 відсотків сухих речовин. Ці сорти мають великі чи середні цибулини з доріплого сорочкою (луска) і сухою шийкою. М'якоть у них гострого смаку, однорідного білого чи ясно-жовтого забарвлення. У сушеному вигляді цибуля цих сортів має красивий білий чи бурштиново-жовтий колір і гарний смак.

Плоди повинні бути доріплыми, здоровими, цільними, сухими і незабрудненими. Форма і забарвлення їх має відповідати даному ботанічному

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат.

ДР.401-НТ.№19061.ПЗ

Арк.

12

сорту. Плоди цибулі повинні мати добре підсушені верхні луски та суху шийку. Розмір цибулин за найбільшим поперечним діаметром встановлений для овальних форм - не більше 4 см. Стандартом допускається наявність у сировині цибулин з невеликими дефектами (пророслих, з недостатньо підсохлою шийкою, з незначним забрудненням, механічними ушкодженнями тощо).

Цибуля південних сортів (Південь України) не дуже придатна для сушіння, так як має темне забарвлення.

Капуста білокачанна (звичайна) придатних для сушіння сортів містить не менше 8 % сухих речовин, має великі качани з білими смачним листям.

В переробці використовують качани свіжі, цілі, без захворювань, не пророслі, чисті, одного ботанічного сорту, без ушкоджень сільськогосподарськими шкідниками. Качани повинні бути цілком сформовані, щільні, зачищені від верхніх нещільно прилягаючих зелених листів, їх маса повинна бути не менше 800 гр. В партії допускається невелика кількість качанів із сухим забрудненням, механічним ушкодженням та інш. дрібними дефектами.

Капуста цвітна різних також може бути використана для сушіння. Краща для цих цілей капуста з великими і середніми качанами з білою, без прозелені, щільною головкою. Крім того сушити переспілу капусту із загрубілими суцвіттями не рекомендується.

До сировини капусти висувають наступні вимоги: качани щільні, цілі, з горбкуватою поверхнею, без пророслих внутрішніх листків. Вони не повинні мати стороннього запаху, ушкоджень сільськогосподарськими шкідниками чи механічних; розмір качанів за найбільшим діаметром (без листів) повинен бути не менше 80 мм; припустима невелика кількість качанів нещільних, з незначно пророслими внутрішніми листочками і з незначними механічними ушкодженнями.

**Виноград і плоди.** До головних видів плодової та ягідної сировини для сушіння є виноград, абрикоси, сливи, яблука та груші. Крім того сушать персики

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат.

ДР.401-НТ.№19061.ПЗ

Арк.

13

(сорти з відокремлюваною кісточкою), вишню, аличу, чорницю, малину та інші культури.

Виноград, який використовують для сушіння, повинен мати м'ясисті ягоди зі вмістом не менш 20 % цукру, тонку і ніжну шкірочку. Крім того для сушіння використовують сорти без насіння (кишмиш) і з насінням (родзинки).

Це корисний продукт, так як у винограді містяться, мг на 100 г продукту: вітаміни: В1 - 0,06, В2 - 0,04, РР - 0,2, С - 3,0, сліди каротину. Крім того цукри винограду представлені різною кількістю глюкози і фруктози, цукроза або відсутня, або є в незначній кількості.

Не використовують для сушіння: ягоди недозрілі, з механічними ушкодженнями, уражені хворобами і шкідниками.

Абрикоси, мають яскравозабарвлені плоди з щільною ніжною м'якоттю, високим вмістом сухих речовин і малою кислотністю. Абрикоси, що використовують для сушіння повинні бути стиглі, не перезрілі.

Не використовують до сушіння незрілі чи зелені плоди з понад п'ятьма бородавками, понад трьома легкими забитими місцями, та понад п'ятьма ушкодженнями на одному плоді; у партіях сировини не повинні бути також плоди із сонячними опіками на площі більше 1/8 поверхні плоду, більше трьох зарубцьованих уколів довгоносика чи одного ушкодження інш. шкідниками.

Сливи мають темнозабарвлені плоди з щільною м'якоттю. Зазвичай для сушіння використовують високоцукристих сортів, з легко відділюваною невеликих розмірів кісточкою, помірною кислотністю. Слива сорту Угорка італійська є цінною сировиною для виробництва чорносливу.

Не підлягають прийманню для сушіння перезрілі плоди чи недозрілі, що мають понад три зарубцьовані уколи довгоносика.

Яблука корисний продукт, так як хімічний склад яблук, %, такий: сухі речовини - 13,5, загальна кількість вуглеводів - 11,3, у тому числі цукру - 10,0, клітковина - 0,6, білки - 0,4, органічні кислоти - 0,7, зола - 0,5.

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат.

ДР.401-НТ.№19061.ПЗ

Арк.

14



## РОЗДІЛ 2 ОСНОВНІ ТИПИ Й КОНСТРУКЦІЇ СУШАРОК

### 2.1 Основні типи й конструкції сушарок

Класифікаційні ознаки сушарок. Внаслідок розмаїтості видів і властивостей матеріалів, що висушуються, масштабів виробництва, використання різних теплоносіїв, а також типів і конструкцій сушильного обладнання прийнято класифікувати основні типи сушильних установок і сушарок за наступними ознаками:

- за організаційно-технічною структурою (режимом роботи): сушарки періодичної й безперервної дії;
- за способом сушіння (підведенням теплової енергії): контактні, конвективні, радіаційні, з нагріванням струмами високої частоти та ін.;
- за видом матеріалу, що висушується: для тонко- і крупнодисперсних продуктів, грудкових матеріалів, для розчинів, суспензій і паст, для стрічкових і листових матеріалів, для великих штучних виробів та ін.;
- за природою й властивостями використовуваного теплоносія: повітряні, обігрівані насиченою або перегрітою водяною парою; на димових (топкових) або інертних газах; на електричному обігріві та ін.;
- за способом видалення вологи із висушуваного матеріалу: з повітрям, що відходить, з димовими або інертними газами, з хімічним поглинанням вологи;
- за тиском у робочому просторі сушарки: під надлишковим тиском, атмосферні та вакуумні;
- за напрямком руху матеріалу та теплоносія: прямо- та протитечійні, з перехресною течією потоків, реверсивні;
- за кратністю використання теплоносія: однократне; багатократне; із частковою та повною рециркуляцією;

Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат

ДР.401-НТ.№19061.ПЗ

Арк.

16

- за гідродинамічним режимом взаємодії матеріалу з теплоносієм: з нерухомим шаром матеріалу або з шаром матеріалу, що рухається; з шаром матеріалу, що перемішується; зі зваженим (киплячим) шаром; пневмотранспортні; аерофонтанні; з розпиленням матеріалу у потоці теплоносія;
- за конструктивними ознаками: камерні, тунельні, шахтні, стрічкові, трубчасті, барабанні, вальцові та ін.

Розглянемо найпоширеніші типи та конструкції сушарок [4].

## 2.2 Контактні сушарки

Контактні сушарки знайшли поширення в малотоннажних виробництвах хімічних реактивів і фармацевтичних продуктів для висушування мілкодисперсних порошків та паст. У контактних сушарках як теплоносієм найчастіше використовують насичену водяну пару або гарячу воду, рідше застосовують електрообігрівання.

**Вакуум-сушильна шафа.** Сушарка працює в періодичному режимі і являє собою шафу циліндричної або прямокутної форми та закривається герметично (Рис. 1).

В корпусі сушарки 1 на опорній конструкції встановлені порожнисті нагрівальні плити 4, усередину яких через колектори підводять і відводять теплоносієм. Полиці 5 з висушуваним матеріалом розміщують на нагрівні плити, на полицях перебуває вологий матеріал з висотою шару 20 - 40 мм. Після завантаження матеріалу шафу герметично закривають і за допомогою вакуум-насоса створюють у сушарці розрідження.

Для зниження втрат теплоти корпус і кришку вакуум-сушильної шафи теплоізолюють. При подачі теплоносія в плити матеріал, що висушується, на полицях нагрівається й з нього випаровується волога. Для зниження температури сушіння процес проводять під вакуумом, пари вологи відводять у конденсатор.

При необхідності в процесі сушіння шар матеріалу, що висушується, періодично перемішують.

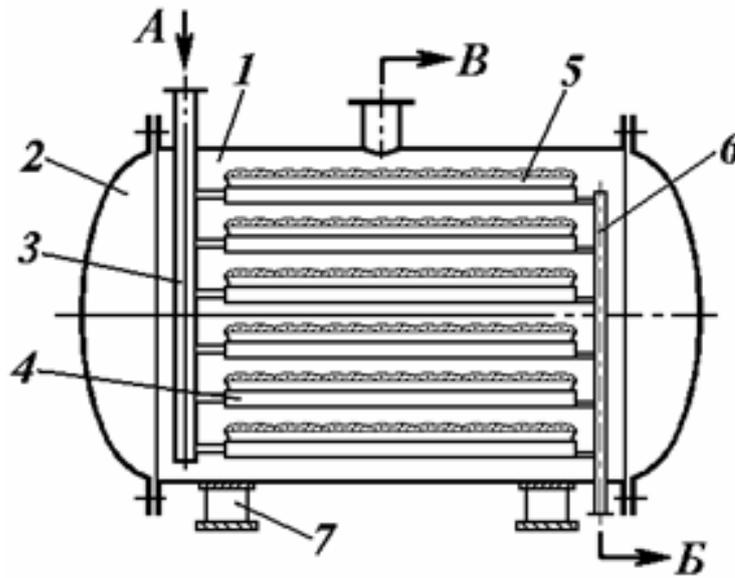


Рисунок 1 Вакуум-сушильна шафа: 1 - корпус; 2 - кришка; 3 - паровий колектор; 4 - нагрівні плити; 5 - полиці з матеріалом; 6 - колектор для відведення конденсату; 7 - опора; Потіки: А - грюча пара; Б - конденсат; В - пароповітряна суміш.

Для зниження втрат теплоти корпус і кришку вакуум-сушильної шафи теплоізолюють. При подачі теплоносія в плити матеріал, що висушується, на полицях нагрівається й з нього випаровується волога. Для зниження температури сушіння процес проводять під вакуумом, пари вологи відводять у конденсатор. При необхідності в процесі сушіння шар матеріалу, що висушується, періодично перемішують.

Сушіння матеріалу у вакуум-сушильній шафі триває декілька годин, після закінчення процесу матеріал охолоджують і вивантажують із сушарки, потім процес сушіння знову повторюють.

Перевагою вакуумних сушарок є можливість сушіння матеріалів при невисоких температурах, менша витрата тепла, можливість уловлювання пари цінних компонентів (наприклад, пари спиртів та органічних рідин), кращі санітарні та безпечні умови роботи обслуговуючого персоналу. Недоліками таких сушарок є низька продуктивність, необхідність застосування ручної праці, більші витрати часу на сушіння, завантаження й вивантаження матеріалу.

**Гребкові вакуум-сушарки.** У гребкових вакуум-сушарках процес сушіння проходить під вакуумом при перемішуванні матеріалу за допомогою гребків (Рис. 2).

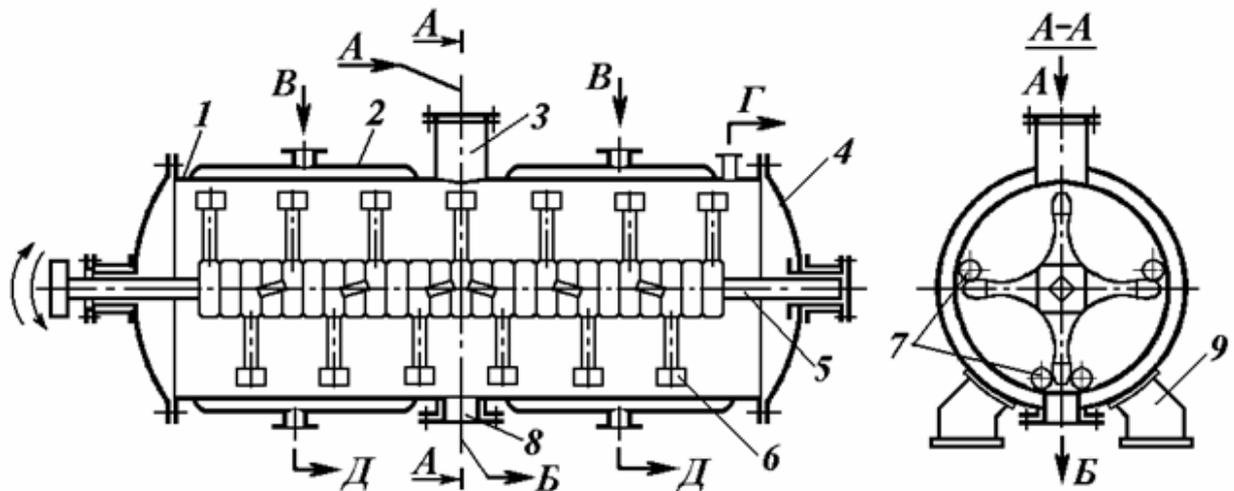


Рисунок 2 Гребкова вакуум-сушарка: 1 - корпус; 2 - парова сорочка; 3 - люк завантажувальний; 4 - кришка; 5 - вал; 6 - гребки; 7 - труби-качалки; 8 - люк для вивантаження; 9 - опора; Потoki: А - вологий матеріал; Б - висушений матеріал; В - пара насичена; Г - пара вологи; Д - конденсат водяної пари.

Сушарка має нерухомий циліндричний корпус, постачений паровою сорочкою, зовні сорочка покрита шаром теплоізоляції. У центрі сушарки встановлений вал із гребками, поверненими під кутом відносно осі вала, вал приводиться до обертання від електродвигуна через черв'ячну передачу й обертається із частотою 5 - 8 об/хв, передбачена можливість автоматичного перемикання напрямку обертання вала. При обертанні вала в одну сторону матеріал переміщується від периферії до центра, при обертанні в іншу сторону - у зворотному напрямку, що поліпшує процес сушіння, полегшує завантаження й вивантаження матеріалу. Для руйнування грудок матеріалу, що висушується, усередині камери поміщають довгі труби, що вільно перекочуються по внутрішній поверхні корпусу.

Після подачі теплоносія в сорочку й прогрівання сушарки включають мішалку, через завантажувальний люк завантажують вологий матеріал, а потім герметизують сушарку. Затим включають у роботу вакуум-насос, створюють у сушарці необхідне розрідження й подають у сорочку гріючу пару потрібного

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат.

ДР.401-НТ.№19061.ПЗ

Арк.

19

тиску (до 0,5 МПа). Після цього починається процес сушіння, що проходить із інтенсивністю 6 - 8 кг вологи/год на 1 м<sup>3</sup> простору сушильної камери. Під час сушіння відбирають пробу матеріалу, що висушується, після закінчення сушіння припиняють подачу теплоносія в сорочку, прохолоджують продукт, скидають вакуум і при працюючій мішалці вивантажують продукт через розвантажувальний люк. Після закінчення вивантаження зупиняють мішалку й проводять підготовчі роботи для виконання повторної операції сушіння.

Сушарки даного типу придатні для висушування матеріалів підвищеної хімічної чистоти, чутливих до високих температур, а також для сушіння токсичних і вибухонебезпечних речовин.

**Вальцьові сушарки.** Вальцьові сушарки призначені для сушіння пастоподібних матеріалів з одночасним формуванням висушеного матеріалу у формі таблеток і гранул певної форми. Одержали поширення одно- та двовальцьові атмосферні й вакуумні сушарки.

Схема вальцово-стрічкової сушарки подана на (Рис. 3).

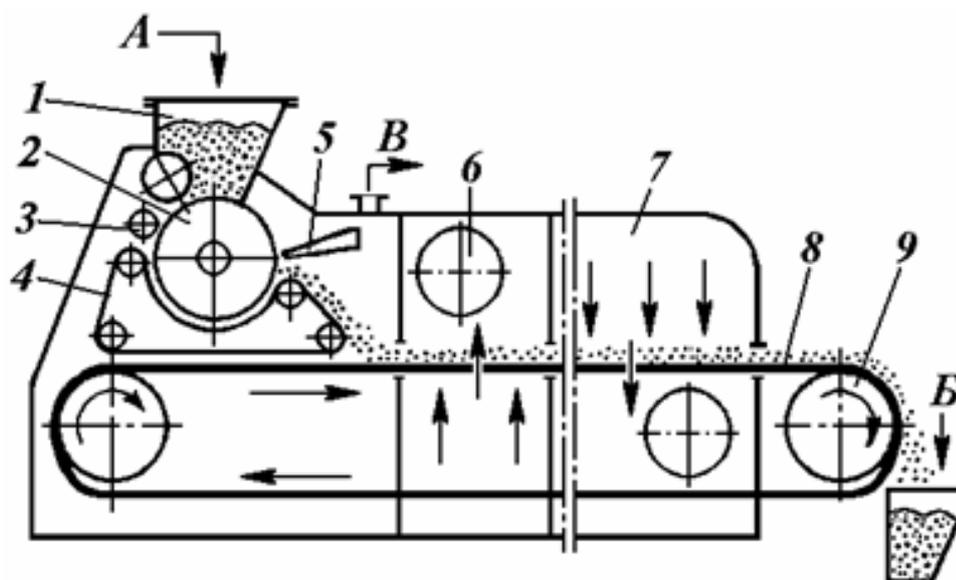


Рисунок 3 Вальцово-стрічкова сушарка: 1 - бункер завантажувальний; 2 - формуючий барабан; 3 - притискний валик; 4 - притискна стрічка; 5 - гребінчастий ніж; 6 - вентилятор; 7 - корпус камерної стрічкової сушарки; 8 - стрічка транспортерна; 9 - ролик ведучий; Потoki: А - вологий матеріал; Б - висушений продукт; В - пароповітряна суміш.

У корпусі 1 розміщений горизонтально пустотілий барабан 2, бічна поверхня якого має кільцеві канавки шириною 6 - 12 мм. Барабан приводиться до обертання

за допомогою електродвигуна й редуктора та повільно обертається із частотою 2 - 5 об/хв, частоту обертання можна регулювати. Гріюча пара під тиском 0,2 - 0,9 МПа надходить через порожнисту цапфу усередину барабана й обігріває його зовнішню поверхню, забезпечуючи її температуру 120 - 175 °С.

Паста, що висушується, подається з бункера та упресовується в канавки за допомогою притискних валиків, сушіння таблеток відбувається на гарячій поверхні барабана, при цьому притискна стрічка усуває випадання таблеток у процесі сушіння, а також транспортує висушений матеріал у бункер. Пари вологи разом з повітрям відсмоктуються вентилятором і відводяться в конденсатор.

Двовальцові атмосферні й вакуумні сушарки призначені для висушування суспензій, паст і формованих матеріалів.

У середині корпусу встановлені два валки, що повільно обертаються назустріч один одному, проміжок між валками регулюється. Паста завантажується зверху й затягується в простір між валками у формі стрічки, сушіння пасту відбувається в результаті контакту її з нагрітою поверхнею валків. Вологовиділення в атмосферних сушарках становить 10 - 15 кг/(м<sup>2</sup> год), у вакуумних сушарках до 20 - 30 кг/(м<sup>2</sup> год). Висушений матеріал знімається ножами, розташованими знизу уздовж утворюючої поверхні кожного валка, матеріал транспортується шнековим механізмом у бункер. Вакуумні двовальцові сушарки влаштовані подібним чином і працюють при розрідженні не нижче 66 кПа, застосування вакууму знижує температуру сушіння термочутливих паст.

### 2.3 Конвективні сушарки

У великотоннажних виробництвах широко використовують конвективні сушарки періодичної й переважно безперервної дії, у яких вологий матеріал, що висушується, примусово обдувається потоком гарячих газів (повітря, димових або інертних), які одночасно є й теплоносієм і транспортним засобом для відведення пари вологи, що видаляється.

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат.

ДР.401-НТ.№19061.ПЗ

Арк.

21

**Камерні сушарки.** Для сушіння дисперсних матеріалів у малотоннажних виробництвах застосовують камерні сушарки із частковою рециркуляцією й проміжним підігріванням повітря (Рис. 4).

Сушарка являє собою прямокутну теплоізольовану камеру 1, внутрішній простір якої розділений на секції, у кожній секції встановлені додаткові підігрівники - калорифери 7 й 8.

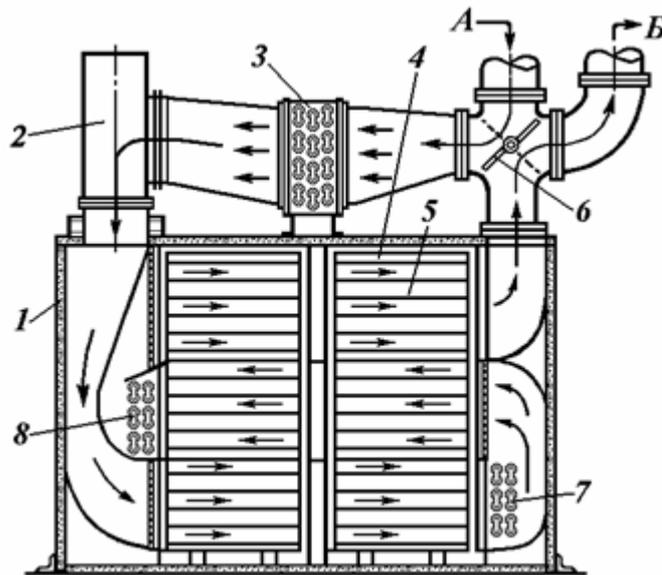


Рисунок 4 Камерна сушарка: 1 - корпус сушарки; 2 - вентилятор; 3, 7, 8 - калорифери; 4 - вагонетки; 5 - полиці з вологим матеріалом; 6 - шибер; Потоки: А - повітря свіже; Б - повітря відпрацьоване.

Вологий матеріал, що висушується, розміщують на полицях 5, що встановлені у вагонетку 4, вагонетки вкочують у сушильну камеру, а затим сушарку герметизують. Потім включають вентилятор 2, підігрівають у калорифері 3 повітря й подають його в секції сушильної камери. Після проведення сушіння в першій секції повітря підігрівається в додатковому підігрівнику 7, а затим повітря надходить у другу секцію й процес повторюється. На виході із сушарки частина відпрацьованого повітря повертається на рециркуляцію за допомогою шиберу 6.

Таким чином, у даній сушарці реалізований процес із частковою рециркуляцією відпрацьованого повітря й дворазовим його підігріванням, що забезпечує м'які умови сушіння.

Тривалість сушіння складає декілька змін залежно від властивостей матеріалу, що висушується, і від температурного режиму, продуктивність сушарки за вологою, що видаляється, дорівнює 13 - 20 кг/год.

Недоліками такої сушарки є трудомісткість операцій завантаження й вивантаження матеріалу й низька інтенсивність сушіння.

**Тунельна багато зональна сушарка.** Удосконаленим варіантом камерних сушарок є тунельна багато зональна сушарка (Рис. 5, 6), у якій висушуваний матеріал у формі великих штучних виробів (наприклад, керамічних) знаходиться у візках (вагонетках). Вагонетки повільно переміщуються в зонах сушильної камери, виконаної у вигляді довгого коридору - тунелю довжиною 20 - 60 м і шириною 2 - 6 м. Швидкість руху газів у камерах сушарки становить 2 - 3 м/с. За режимом роботи тунельні сушарки відносяться до обладнання напівбезперервної дії.

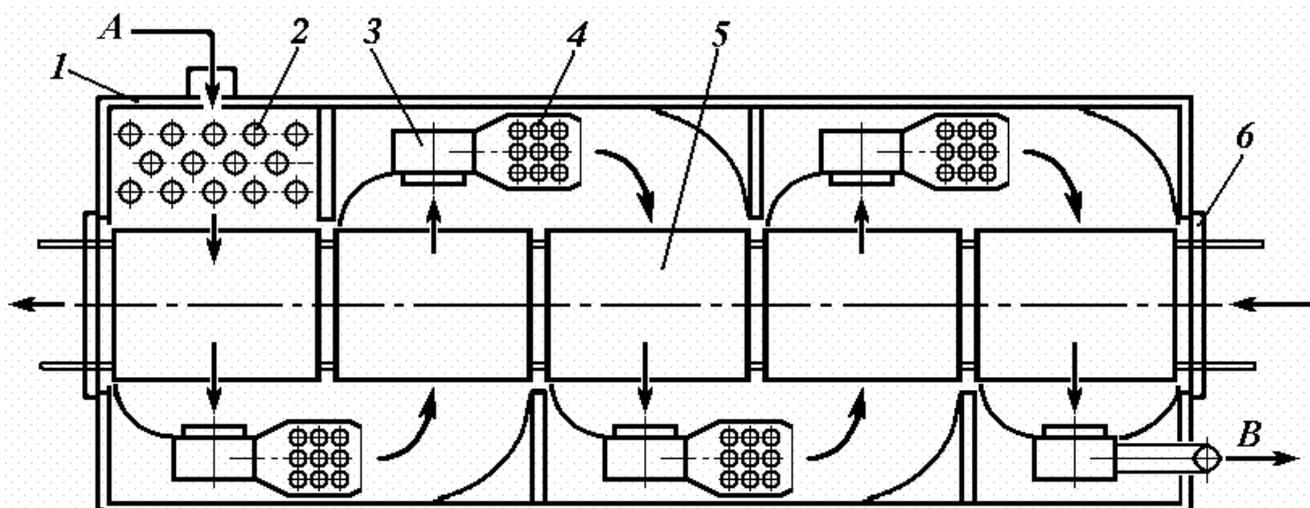


Рисунок 5 Тунельна багато-зональна сушарка (вид зверху): 1 - корпус; 2 - калорифер; 3 - вентилятор; 4 - калорифер додатковий 5 - вагонетка; 6 - двері розсувні; Потоки: А - повітря свіже; Б - повітря відпрацьоване.

Сушильний агент за допомогою газодувок примусово нагнітається в зони сушарки й рухається уздовж камер прямо-, протитечією або збоку до матеріалу, що висушується, при цьому є можливість проводити процес сушіння із частковим підігріванням повітря (газу) у секціях.

Тунельні сушарки також можуть обігріватися топковими газами.

Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат

ДР.401-НТ.№19061.ПЗ

Арк.

23



Рисунок 6 Тунельна багато-зональна сушарка (вид збоку).

Вентилятори й калорифери звичайно встановлюють збоку або знизу під тунелем. Переміщення вагонеток відбувається за допомогою троса й механічної лебідки, швидкість переміщення залежить від температурного режиму й тривалості процесу сушіння.

**Стрічкові сушарки.** Для сушіння великошматкових, волокнистих і пастоподібних матеріалів застосовують стрічкові сушарки (Рис. 7), у яких у корпусі сушарки матеріал рівномірним шаром товщиною до 50 мм розміщений на стрічковому транспортері, повільно переміщуваному від завантажувального пристрою до розвантажувального бункера.

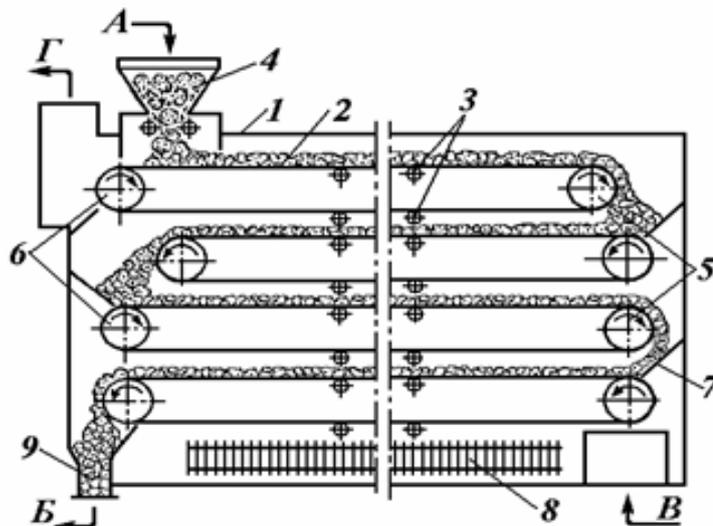


Рисунок 7 Багатострічкова сушарка: 1 - корпус сушарки; 2 - нескінченна стрічка - транспортер; 3 - опорні ролики; 4 - бункер завантажувальний; 5 - барабан ведучий; 6 - барабан ведений; 7 - стінка розділова; 8 - парові калорифери; 9 - бункер вивантажувальний; Потoki: А - вологий матеріал; Б - висушений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

Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат

ДР.401-НТ.№19061.ПЗ

Арк.

24

У багатострічкових (багатоярусних) сушарках транспортерні стрічки розташовуються одна над іншою і переміщуються в протилежних напрямках. Сушильний агент звичайно подають протитечією до висушуваного матеріалу, під час пересипання матеріалу з однієї стрічки на іншу відбувається його розпушення, що сприяє інтенсифікації процесу сушіння.

Стрічкові сушарки можуть бути багатозонними з регульованим температурним режимом сушіння у зонах.

**Шахтні сушарки.** Для сушіння сипких зернистих або гранульованих матеріалів широко використовують шахтні сушарки, що являють собою вертикальні камери (шахти) висотою 20 - 60 м, у яких висушуваний матеріал пересипається з полиці на полицю або рухається у насадці суцільним шаром зверху вниз назустріч потоку сушильного агента.

Звичайно в сушарках такого типу висушують матеріали, що містять переважно поверхневу вологу. Сушильний агент рухається в сушарці зі швидкістю 0,2 - 0,5 м/с, при цьому вологовидалення становить 20 - 30 кг/(м<sup>3</sup> год). Як сушильний агент використовують нагріте повітря (для термочутливих матеріалів) або топкові гази (для висушування солей, руд та ін.). Залежно від властивостей матеріалу сушіння в шахтних сушарках триває від декількох хвилин до декількох годин.

**Барабанні сушарки.** Широкого поширення в хімічній промисловості в багатотонажних виробництвах мінеральних солей і добрив набули барабанні сушарки завдяки універсальності, надійності в роботі й досить високій їхній ефективності.

Будова барабанної сушарки наведена на (Рис. 8, 9).

Сушарка являє собою циліндричний барабан діаметром від 0,4 до 3,8 м і довжиною від 3 до 27 м, з відношенням  $L:D = 4 - 8$ . На барабан надіті бандажі й зубчаста вінцева шестірня, бандажі опираються на циліндричні ролики опорної й упорно-опорної станцій. За допомогою зубчастої вінцевої шестірні здійснюється обертання барабана від електродвигуна через редуктор, частота обертання

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат.

ДР.401-НТ.№19061.ПЗ

Арк.

25

барабана становить 0,5 - 5 об/хв. Барабан установлений на опорні ролики з нахилом до горизонту під кутом 1,5 - 3 ° убік розвантаження висушеного матеріалу.

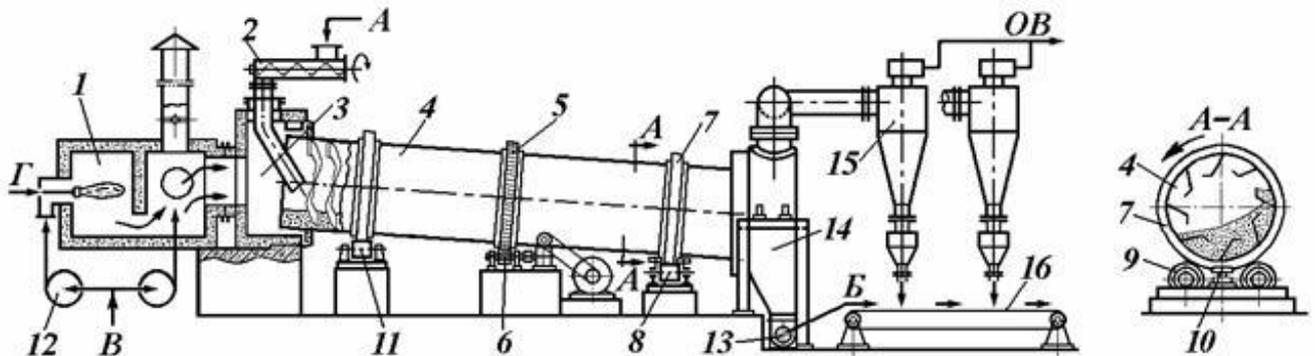


Рисунок 8 Сушильна установка з барабанною сушаркою: 1 - топка; 2 - живильник; 3 - камера завантажувальна; 4 - барабан; 5 - вінець зубчастий; 6 - станція приводна; 7 - бандаж опорний; 8 - станція упорно-опорна; 9 - ролик опорний; 10 - ролик упорний; 11 - станція опорна; 12 - вентилятори; 13 - шнек транспортний; 14 - камера вивантажувальна; 15 - пилоочисна установка; 16 - транспортер; Потоки: А - вологий матеріал; Б - висушений продукт; В - повітря атмосферне; Г - паливо; ОВ - відпрацьоване повітря.

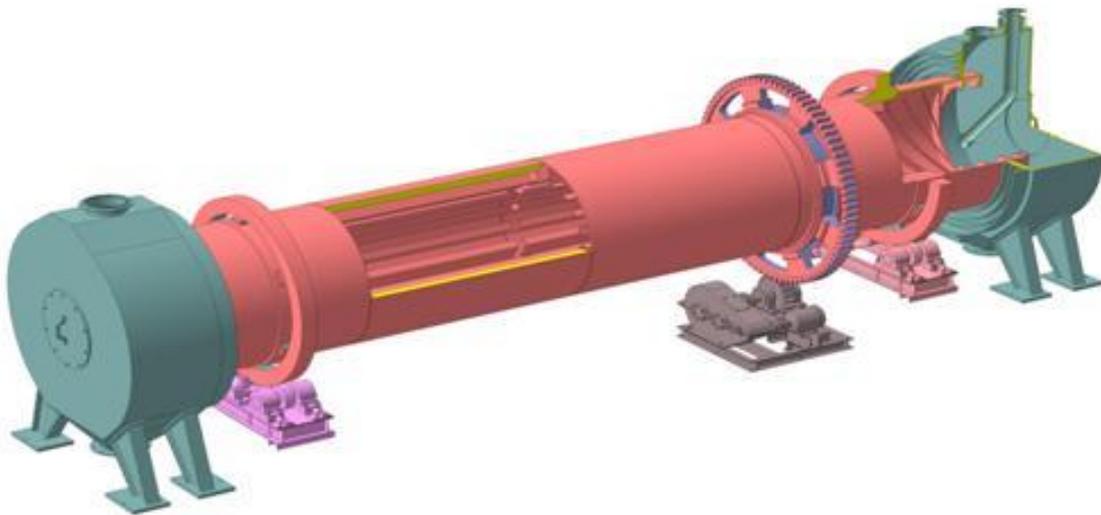


Рисунок 9 Барабанна сушарка.

На обох протилежних кінцях барабана змонтовані відповідно завантажувальна й розвантажувальна камери, ущільнені за допомогою спеціальних ущільнень (наприклад, сальникових або лабіринтних) для зменшення підсмоктування атмосферного повітря.

Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат

ДР.401-НТ.№19061.ПЗ

Арк.

26

Через завантажувальну камеру 3 подають вологий матеріал, що висушується, та підводять гарячий теплоносій, через розвантажувальну камеру 14 відводиться відпрацьований теплоносій і вивантажують висушений готовий продукт.

Внутрішній об'єм барабана заповнений насадками різної форми (гвинтовою, лопатевою, підйомно-лопатевою, секторною та ін.), вибір типу насадки залежить від властивостей матеріалу, що висушується.

Під час обертання барабана за допомогою насадки матеріал, що завантажується, піднімається на певну висоту й потім зсипається вниз у потік нагрітого газу. Степінь заповнення барабана висушуваним матеріалом становить 10 - 25 %. Газ рухається в сушарці зі швидкістю 1,0 - 4 м/с залежно від розмірів й густини частинок, при цьому відбувається конвективне сушіння матеріалу. Як теплоносій використовують нагріте у калорифері до температури 100 - 130 °С атмосферне повітря (при сушінні хімічно чистої продукції) або топкові гази з температурою 250 - 500 °С (при сушінні мінеральних добрив, солей і продуктів, що допускають незначні забруднення і використання підвищених температур). Відпрацьований газ відводиться із сушарки в пилоуловлюючу систему.

Для зниження теплових втрат зовнішню поверхню барабана теплоізолюють (футерують або покривають шаром вогнетривкої цегли).

Розрахунок об'єму сушильної камери барабанної сушарки проводять за формулою, враховуючи об'ємне навантаження за вологою, що випаровується, та властивості висушуваного матеріалу.

Недоліками барабанних сушарок є порівняно низьке вологовидалення з одиниці об'єму барабана, громіздкість, висока металоємність, підвищена витрата теплової енергії з відпрацьованими газами.

Сушарки з киплячим (псевдозрідженим) шаром висушуваного продукту поширено застосовують у хімічній та інших подібних галузях промисловості завдяки високій інтенсивності процесу сушіння матеріалів з різними властивостями.

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат.

ДР.401-НТ.№19061.ПЗ

Арк.

27

**Сушарки киплячого шару.** У сушарках киплячого шару (СКШ) висушують не тільки дисперсні матеріали з розміром часток 0,2 - 10 мм, але й пасти, суспензії, розчини та розплави.

Сушарки КШ класифікують за декількома основними ознаками:

за гідродинамічним режимом роботи: з киплячим, зваженим, вихровим і фонтануючим шаром;

за конфігурацією сушильної камери: циліндричні, циліндроконічні, прямокутні;

за числом сушильних камер (зон): однокамерні (однозонні), багатокамерні (багатозонні);

за розташуванням камер: горизонтальні, вертикальні, горизонтально-секціоновані, вертикально-секціоновані;

за кратністю використання теплоносія: з одноразовим і багаторазовим використанням теплоносія.

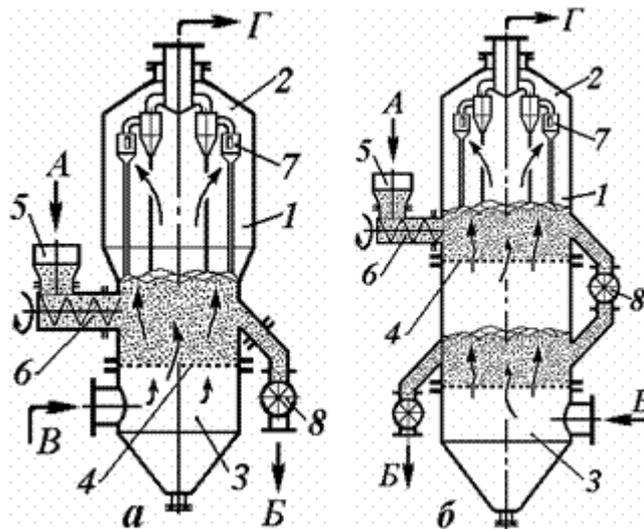


Рисунок 10 Циліндричні сушарки з киплячим шаром (СКШ): а - однозонна циліндроконічна; б - двозонна циліндрична; 1 - корпус; 2 - кришка; 3 - камера газорозподільна; 4 - решітка газорозподільна; 5 - бункер; 6 - живильник; 7 - система пилоуловлювальна; 8 - дозатор секторний; Потoki: А - вологий матеріал; Б - продукт; В - гази нагріті; Г - гази відпрацьовані.

В основу роботи сушарок киплячого шару покладений принцип протитечійної стислої взаємодії дисперсної твердої фази з висхідним потоком нагрітого теплоносія. При такій взаємодії частки розділені між собою прошарком газу, швидко нагріваються до температури теплоносія, і при цьому відбувається

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дат.

інтенсивне випаровування вологи як поверхневої, так і внутрішньої. Інтенсивність випарювання вологи в сушарках КШ на порядок вища, ніж у сушарках інших типів. Залежно від властивостей матеріалу, що висушується, кінцевої вологості й гранулометричного складу готового продукту, гідродинамічного й теплового режиму сушіння застосовують різні типи й конструкції сушарок КШ.

Принципова будова сушарок КШ подана на (Рис. 10, 11).

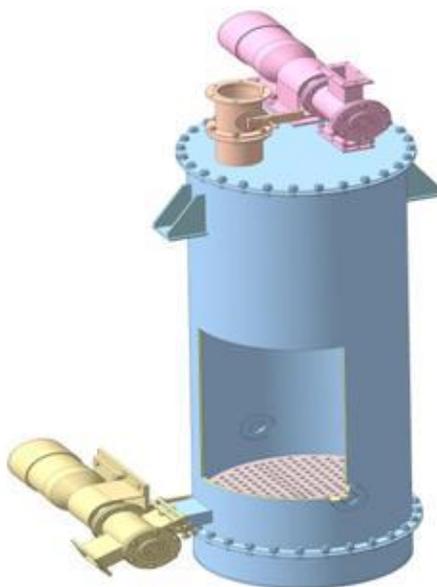


Рисунок 11 Циліндрична сушарка з киплячим шаром.

Сушарка складається з корпуса циліндричної або прямокутної форми, у нижній частині якого укріплена газорозподільна решітка й короб для подачі теплоносія - нагрітого газу.

У верхній частині корпуса змонтований пилоуловлюючий пристрій - циклон, апарат закритий кришкою. У середній частині корпуса змонтований пристрій б для завантаження вологого матеріалу і пристрій для вивантаження готового продукту.

В деяких сушарках КШ можна одночасно проводити декілька сполучених процесів (наприклад, сушіння, гранулювання та капсулювання - нанесення водостійкого покриття або сушіння й одержання багат шарового складного добрива).

Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат

ДР.401-НТ.№19061.ПЗ

Арк.

29

У сушарках КШ можна висушувати розчини на шарі часток інертного зернистого матеріалу з наступним стиранням шару й одержанням мілкодисперсних порошоків (наприклад, анілінових барвників).

**Вібросушарки.** З метою зниження витрати сушильного агента при одночасному збереженні позитивних якостей псевдозрідженого шару розроблені різноманітні конструкції вібросушарок (Рис. 12, 13).

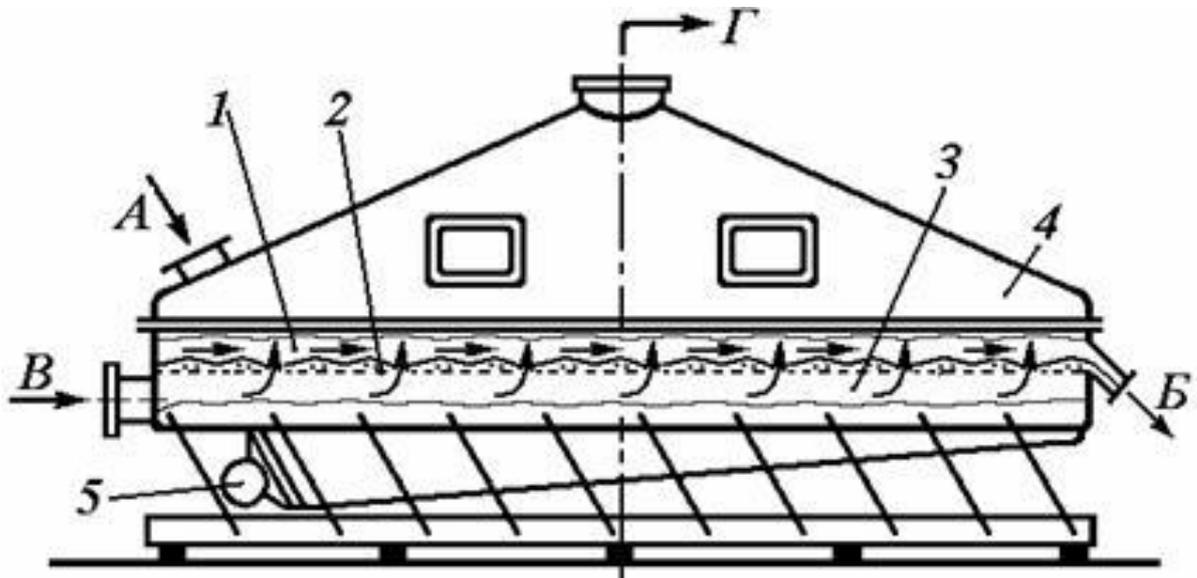


Рисунок 12 Вібросушарка з киплячим шаром матеріалу: 1 - корпус сушильної камери; 2 - решітка; 3 - газорозподільна камера; 4 - кришка; 5 - вібропривід; А - вологий матеріал; Б - продукт; В - повітря нагріте; Г - повітря відпрацьоване.

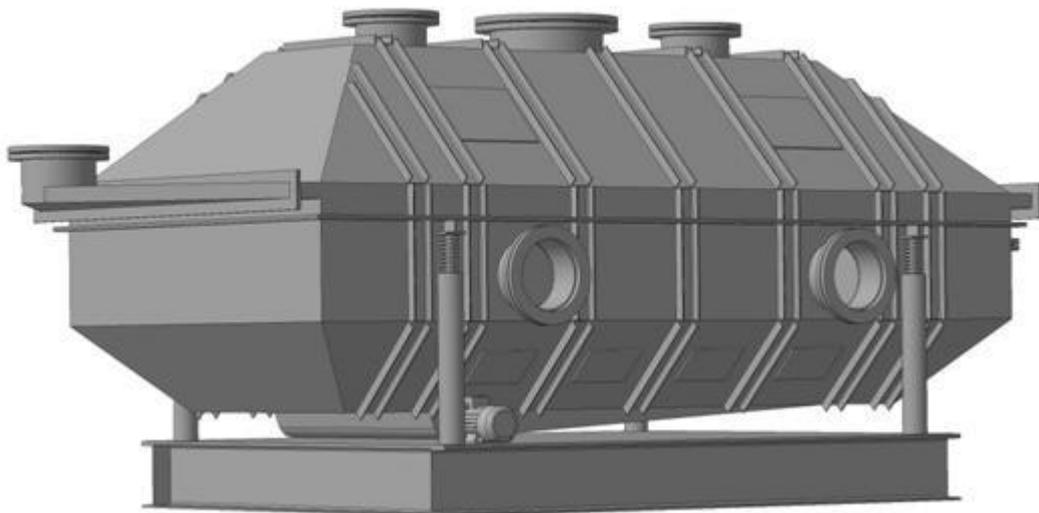


Рисунок 13 Вібросушарка з киплячим шаром.

Звичайно у вібраційних сушарках теплоносії подають під газорозподільну решітку в такій кількості, щоб забезпечити переведення дисперсного матеріалу у

зважений (псевдозріджений) стан при невеликих порізностях ( $0,48 < \varepsilon < 0,52$ ). Потрібний для висушування стан зваженого шару досягається за рахунок накладення вібрацій безпосередньо на підтримуючу шар решітку або на корпус сушарки в цілому. Частота й амплітуда вібрацій підбираються індивідуально з урахуванням властивостей і висоти шару висушуваного матеріалу. Звичайно висота віброкиплячого шару варіюється в інтервалі 20 - 50 мм, амплітуда становить 0,5 - 3 мм при частоті 10 - 60 Гц. Хоча питоме навантаження щодо вологи у таких сушарках невелике, їх застосовують для сушіння волокнистих матеріалів та таких матеріалів, що можуть утворювати грудки.

**Аерофонтанні сушарки.** Аерофонтанні сушарки (Рис. 14) являють собою комбіновані апарати, у яких на різних ділянках апарата використовують активні гідродинамічні режими взаємодії потоків гарячого теплоносія й дисперсних часток.

Звичайно в нижній конічній секції апарата створюють гідродинамічний режим, у якому локальна швидкість газового потоку перевищує швидкість витання часток і на цій ділянці утворюється фонтан: частки матеріалу, що висушується, захоплюються потоком газу, виносяться у центральну верхню зону, тут відкидаються в периферійну кільцеву зону і рухаються вниз. У верхній зоні апарата швидкість газу менша швидкості витання часток, тому під дією сили ваги частки осідають і переміщуються щільним шаром у режимі повзучого руху в нижню конічну частину апарата.

Таким чином, в аерофонтанному апараті виникає тороїдальна циркуляція часток: у центрі апарата частки швидко рухаються знизу нагору, а на периферії повільно сповзають зверху вниз.

Швидкість циркуляції залежить від швидкості газу й від об'єму циркулюючого шару часток, час сушіння визначається температурним режимом і швидкістю циркуляції. При такій циркуляції теплообмін між частками й газом відбувається не тільки конвективним, але й контактним способами, що помітно інтенсифікує процес сушіння. Висушений продукт відводиться із сушарки через

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат.

ДР.401-НТ.№19061.ПЗ

Арк.

37

переливний пристрій (для грубозернистих часток) або виноситься потоком газу в режимі пневмотранспорту. Аерофонтанні сушарки часто використовують для висушування розчинів і паст, отримуючи при цьому гранульований продукт.

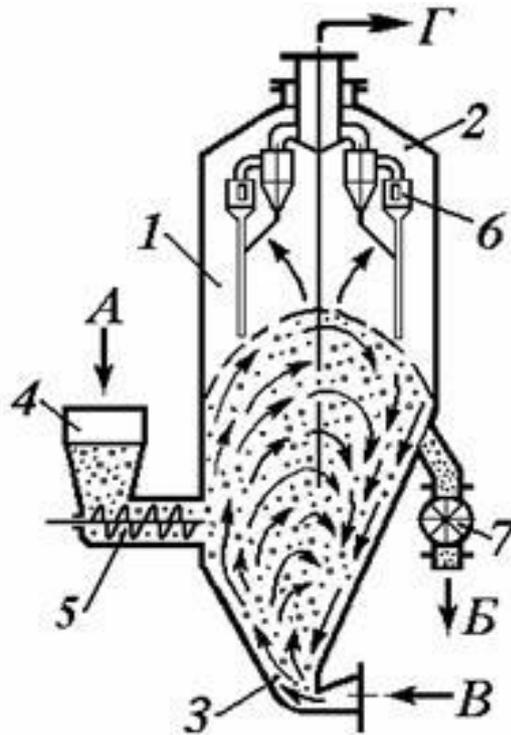


Рисунок 14 Сушарка аерофонтанна з вихровим шаром: 1 - корпус; 2 - кришка; 3 - днище конічне; 4 - бункер; 5 - шнек; 6 - пиловловлювач; 7 - дозатор; Потoki: А - вологий матеріал; Б - продукт; В - гази нагріті; Г - гази відпрацьовані.

**Пневматична труба-сушарка.** Пневматична труба-сушарка (Рис. 15, 16) являє собою апарат, у якому дисперсні частки, що висушуються, переміщуються в режимі пневмотранспорту по похилій або вертикальній трубі.

Нагрітий сушильний агент одночасно є й теплоносієм, і транспортним засобом.

Звичайно в трубах-сушарках висушують термостійкі матеріали (солі, окисли, порошки металів та ін.), використовуючи високотемпературні теплоносії з температурою 250 - 700 °С (наприклад, топкові гази). Щоб уникнути завалу в нижній частині сушарки швидкість газу звичайно в 2 - 3 рази перевищує швидкість витання великих часток й агрегатів матеріалу, що висушується. Залежно від властивостей матеріалу і вимог до готового продукту розроблені труби-сушарки найрізноманітніших конструкцій.

Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат
----	-----	---------	--------	-----

ДР.401-НТ.№19061.ПЗ

Арк.

32

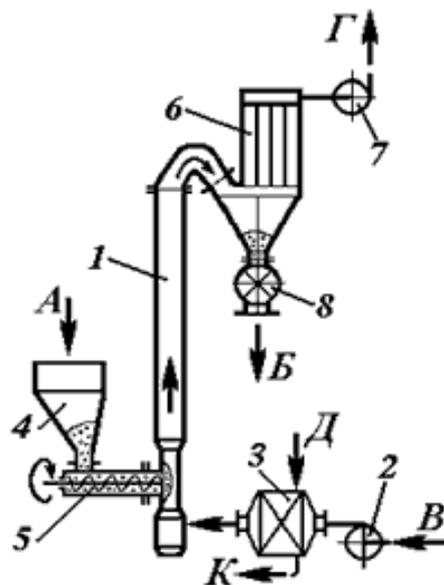


Рисунок 15 Схема сушильної установки із трубою-сушаркою: 1 - труба-сушарка; 2,7 - вентилятори; 3 - калорифер; 4 - бункер; 5 - шнек-живильник; 6 - рукавний фільтр; 8 - шлюзовий затвор; Потоки: А - вологий матеріал; Б - продукт; В - повітря свіже; Г - повітря відпрацьоване; Д - грійуча пара; К – конденсат.



Рисунок 16 Пневматична труба-сушарка.

**Розпилюючі сушарки.** Для висушування мілкодисперсних суспензій і розчинів широко використовують розпилюючі сушарки, будова яких показана на (Рис. 17, 18).

Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат

ДР.401-НТ.№19061.ПЗ

Арк.

33

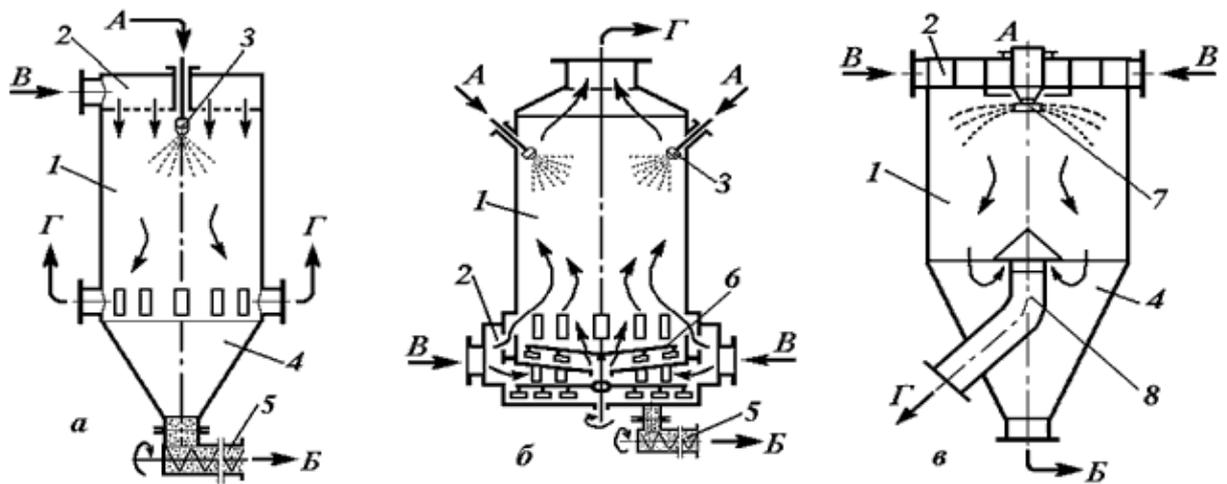


Рисунок 17 Схеми деяких типів розпилюючих сушарок: а - прямотечійна з форсунковим розпиленням; б - протитечійна з форсунковим розпиленням; в - прямотечійна з дисковим розпиленням; 1 - корпус; 2 - газорозподільний пристрій; 3 - форсунка; 4 - днище конічне; 5 - шнек; 6 - гребковий механізм; 7 - дисковий розпилювач; 8 - труба вихлопна; Потоки: А - пульпа; Б - продукт; В - гази нагріті; Г - гази відпрацьовані.



Рисунок 18 Розпилююча сушарка.

Розпилююча сушарка звичайно має циліндричний або циліндроконічний теплоізований корпус, у якому за допомогою механічних форсунок або розпилюючих високооберткових дисків диспергується на дрібні краплі продукт, що висушується. Об'ємна напруга за вологою в таких сушарках становить 5 - 10 кг/(м<sup>3</sup> год). Краплі осаджуються в потоці гарячого теплоносія, при цьому

відбувається видалення вологи із них, а висушений продукт виводиться із сушильної камери знизу у вигляді мілкодисперсного порошку, розмір часток готового продукту становить 10 - 500 мкм.

В окремих конструкціях розпилюючих сушарок висушений продукт виводять із сушарки разом з відпрацьованим теплоносієм. Мілкодисперсний порошок видаляють із потоку газу в пилоуловлюючих установках циклонного й фільтраційного типу. Номенклатура продуктів, що висушуються в розпилюючих сушарках, досить велика, включаючи барвники, фармакопейні порошки, сухе молоко, дріжджі та ін.

**Сушіння на інертних тілах.** При сушінні розчинів, суспензій і паст застосовують нанесення матеріалу, що висушується, на псевдозріджений шар великих інертних часток, таких як скляні, керамічні, порцелянові й сталеві кульки діаметром 6 - 10 мм. У цьому випадку киплячий шар інертних часток добре прогривається й при нанесенні на нього вологого матеріалу на поверхні часток утворюється плівка, що швидко висихає та стирається при русі часток й їх зіткненні. Готовий продукт у вигляді порошку або крупинок з розміром часток 50-100 мкм виноситься потоком теплоносія й уловлюється в пилоуловлюючій системі.

Завдяки спільному процесу контактного й конвективного сушіння помітно (майже на порядок) збільшується швидкість сушіння, підвищується питоме вологовидалення в одиниці об'єму сушильної камери, при цьому відсутній перегрів матеріалу й скорочується тривалість сушіння [4].

## 2.4 Спеціальні методи сушіння

Для сушіння вологих матеріалів зі специфічними властивостями (що не допускають контакту з повітрям, вимагають особливого температурного режиму, термолабільних та ін.) використовують спеціальні методи сушіння й сушарки спеціальних конструкцій.

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат.

ДР.401-НТ.№19061.ПЗ

Арк.

35

Терморадіаційні сушарки знайшли застосування для висушування волокнистих матеріалів, штучних і натуральних шкір, прогумованих тканин та ін. У таких сушарках необхідне для процесу тепло підводиться до матеріалу, що висушується, за допомогою променистого (радіаційного) теплообміну у вигляді випромінювання з довжиною хвиль 0,6 - 340 мкм. Енергія інфрачервоного випромінювання при попаданні на поверхню висушуваного матеріалу перетворюється в теплову енергію, під дією якої відбувається сушіння. При терморадіаційному сушінні в основному видаляють поверхневу вологу з матеріалу, звичайно переміщуваного на конвеєрному транспортері, або висушуваний матеріал являє собою стрічку. Терморадіаційне сушіння використовують також при сушінні лакофарбових покриттів, що наносяться на великогабаритні вироби (наприклад, корпуси автомобілів та машин).

Як теплові випромінювачі застосовують лампи спрямованого інфрачервоного випромінювання або випромінюючі тепло керамічні панелі - блоки, нагріті до 600 - 800 °С електричними спіралями або газовими пальниками безполуменевого горіння. Потужність теплового потоку при терморадіаційному сушінні досить значна, що дозволяє досягти швидкості випаровування вологи у багато разів перевищуючу швидкість випарювання при конвективному або контактному сушінні.

Сушіння струмами високої частоти (діелектричне сушіння) вологого матеріалу відбувається на транспортерній стрічці, що переміщається між обкладками конденсатора, приєднаними до генератора струмів високої частоти. Звичайно при такому сушінні висушуваний матеріал повинен мати діелектричні властивості. У результаті високочастотної зміни заряду пластин конденсатора відбувається багаторазова переорієнтація молекул вологи у матеріалі, що висушується. Під дією електричного поля високої напруги й під впливом змінного струму високої частоти відбувається регульований розігрів матеріалу зсередини, при цьому внутрішні шари матеріалу розігріваються швидше, ніж зовнішні.

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат.

ДР.401-НТ.№19061.ПЗ

Арк.

36

У результаті такого розігріву матеріалу відбувається термодифузійне видалення вологи із внутрішніх шарів матеріалу до зовнішніх шарів при невисокій навколишній температурі. Діелектричне сушіння є єдиним способом підведення тепла до вологого матеріалу по всій його товщині, що забезпечує рівномірність сушіння товстолистових матеріалів (наприклад, для сушіння керамічних і порцелянових електроізоляторів, ливарних стрижнів та ін.). Недоліками таких сушарок є складність установки й велика питома витрата енергії на видалення вологи.

Сублімаційне сушіння знайшло застосування при видаленні вологи із заморожених продуктів, хіміко-фармацевтичних і біопрепаратів при температурах до  $-50^{\circ}\text{C}$  і низькому залишковому тиску (0,1 - 1,0 мм рт. ст.). Сублімаційне сушіння являє собою процес видалення вологи шляхом переходу її із твердого стану - льоду - в пароподібний, минаючи рідиннофазний стан. Хоча витрата енергії на сушіння близька до витрати тепла на випарювання вологи, що видаляється, сублімаційне сушіння є дорогим через складність установки, необхідність мати обладнання для створення й підтримки в установці глибокого вакууму, а також внаслідок низької швидкості випаровування вологи [4].

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат.

ДР.401-НТ.№19061.ПЗ

Арк.

37

## РОЗДІЛ 3 СТЕНД ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТІВ

### 3.1 Склад стенду

У дипломній роботі для проведення експериментів я використовував камерну конвективну сушарку яка знаходиться в лабораторії кафедри теплогазопостачання, вентиляції та теплоенергетики Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» і була змонтована нашими попередниками з допомогою викладачів кафедри. Загальний вид стенду зображено на (Рис. 19).

Метою проведення моїх експериментів було дослідження впливу змін температури повітря і швидкості на процес сушіння. А також отримання на виході якісної сировини за короткий проміжок часу з мінімальними затратами на електроенергію. Основним елементом камерної конвективної сушарки є камера, всередині якої розташовують сировину, що залишається нерухомою протягом всього процесу сушіння [7].

У стенді ми використали повітряний нагнітач **SystemairKV 160 M** який працює в парі з частотним регулятором. Він дає змогу регулювати кількість обертів на даному нагнітачі, це дає змогу регулювати швидкість потоку повітря. Для підігрівання повітря було використано електричний калорифер **AerostarSEN 50-25/22,5**. Даний калорифер електричний і має 9 тенів сумарною потужністю 22,5 кВт. Але для нашого стенду така велика потужність не потрібна, тому що у нашому стенді малі витрати повітря. Через це ми використовуємо лише 3 тені. Один тен потужність 2,5 кВт. Для даного стенду сушильну камеру було зроблено самостійно. Стінки камери зроблені з деревини і обшиті фольгою, для зменшення тепловтрат з променевою складовою. З пінополістиролу були змонтовані завороти, для спрямування повітряного потоку на матеріал який буде сушитися. Дверцята сушильної камери обладнані віконцем для візуального спостереження за процесом сушіння та для фіксації температури всередині сушильної камери [5].

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат.

ДР.401-НТ.№19061.ПЗ

Арк.

38

Також стенд обладнаний трьома спиртовими термометрами, які дають змогу спостерігати за температурою і не виходити за рамки температурного режиму.



Рисунок 19 Загальний вид стенду: 1 – сушильна камера; 2 - повітряний нагнітач; 3 - електричний калорифер; 4 – спиртовий термометр; 5 – частотний регулятор обертів; 6 – оглядове віконце.

### 3.1.1 Сушильна камера

Основним елементом розробленої конвективної сушарки є камера (Рис. 20), всередині якої розташовують сировину, що залишається нерухомою протягом усього процесу сушіння [7]. Сировину розташовують на спеціальних решітках (Рис. 21). Для спрямування та рівномірного розповсюдження повітря, що рухається через камеру, з пінополістиролу були змонтовані напрямні елементи, які були вкриті листовим оцинкованим металом. Для спостережень за процесом сушіння та фіксації температури повітря всередині сушильної камери, стенд було обладнано лампою «холодного світла» (Рис. 20) [5].

Сушильна камера вертикальна. Стінки камери зроблені з дерев'яних щитів, які зовні утеплені пінопластом завтовшки 25 мм. Внутрішня поверхня щитів вкрита прошарком харчової фольги, для зменшення тепловтрат за рахунок променевої складової. У дверцятах камери було зроблено віконце для можливості візуально спостерігати за процесами, що відбуваються всередині [5].



Рисунок 20 Камера сушіння: 1 – лампа «холодного світла»; 2 – спиртовий термометр; 3 – решітка для сировини.



Рисунок 21 Решітка для сировини.

### 3.1.2 Повітряний нагнітач Systemair

Для забезпечення руху повітря, що виступає як агент сушіння, було використано каналний вентилятор фірми Systemair (Швеція) типу KV 160 M (Рис. 22). Даний тип круглих каналних вентиляторів з серією Systemair KV призначений для монтажу на стіну який підключається до повітропроводу і в більшості випадків використовується в якості витяжного вентилятора.

Всі вентилятори серії K / KV від шведської компанії Systemair обладнані приєднувальними патрубками довжина яких складає не менше 2,5 см. Також вся серія вентиляторів обладнана робочим колесом лопатки якого заломлені назад і двигуном в якому використовується зовнішній ротор.

В стандартний комплект поставки вентиляторів серії K входить монтажний кронштейн з болтами за допомогою якого проводиться монтаж вентилятора, що значно його спрощує.

Якщо проводити монтаж за допомогою швидкороз'єднувальних хомутів FK, то це значно полегшить установку і зняття вентилятора і допоможе уникнути передачі вібрації на повітроводи. Швидкість вентилятора може регулюватися за допомогою плавного тиристорного регулятора або п'яти ступеневого трансформатора.

Захист електродвигунів від перегріву вентилятори серії K / KV 100 M і 160 M обладнані напівпровідниковим реле, а вентилятори серії K / KV 100 XL - 315 L - вбудованим тепловим реле з автоматичним поверненням в початковий стан.

Сам корпус вентилятора, а точніше дві його частини з'єднані між собою методом вальцювання, що забезпечує практично повну герметичність корпусу. Завдяки чому вентилятори можуть бути встановлені як зовні приміщення, так і в приміщеннях з високою вологістю з підключенням до повітропроводу [6].

- Переваги вентиляторів Systemair: - можливість регулювання швидкості;  
- вбудовані термоконтакти;  
- монтаж в різних положеннях;

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат.

ДР.401-НТ.№19061.ПЗ

Арк.

41

- можливість встановлення зовні будівлі;
- не потребує обслуговування;
- надійність в роботі [6].

Технічні характеристики даного агрегату зазначені на сайті виробника.



Рисунок 22 Повітряний нагнітач KV 160 M.

Також треба зазначити, що даний нагнітач додатково доповнювався частотним регулятором. Частотний регулятор працює сумісно з нагнітачем. Він дає змогу регулювати кількість обертів на даному нагнітачі, це дає змогу регулювати швидкість потоку повітря (Рис 23). Технічні характеристики даного агрегату зазначені на сайті виробника.



Рисунок 23 Частотний регулятор.

Зм	Арк	№ док	Підпис	Дат

ДР.401-НТ.№19061.ПЗ

Арк.

42

### 3.1.3 Електричний калорифер Aerostar

Для підігріву повітря було використано електричний калорифер фірми Aerostar (Україна) марки SEH 50-25/22,5 (Рис. 24). Цей калорифер має 9 ТЕНів, кожний потужністю 2,5 кВт, його максимальна потужність складає 22,5 кВт. Даний лабораторний стенд має можливість зміни у використанні одного, двох, трьох чи більшої кількості ТЕНів у залежності від обсягів агента сушіння та необхідної температури [5]. Технічні характеристики даного агрегату зазначені на сайті виробника.



Рисунок 24 Електричний калорифер Aerostar SEH 50-25/22,5.

### 3.1.4 Контрольно вимірювальні пристрої

В даній дипломній роботі в якості контрольно вимірювальних приладів я використовував спиртові термометри, анемометр, та електронні ваги. Також для дослідження температурного режиму я використовував смартфон з влаштованим тепловізором .

Термометр рідинний відноситься до термометрів розширення і виконаний у вигляді скляної оболонки овальної форми з звуженою нижньою частиною і

Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат

ДР.401-НТ.№19061.ПЗ

Арк.

43

резервуаром (Рис. 25). Це найбільш прості, дешеві, а тому і найпоширеніші прилади.

Принцип дії термометра заснований на тепловій зміні об'єму термометричної рідини в залежності від температури повітря. При зміні температури заповнююча термометр рідина розширюється і піднімається вгору по капілярі. Шкала наноситься прямо на поверхню капіляра або прикріплюється до нього зовні.

Коротка характеристика:

діапазон виміру температур: від  $0^{\circ}\text{C}$  до  $+100^{\circ}\text{C}$ ;

ціна поділок:  $1^{\circ}\text{C}$ ;

тип: рідинний (спиртовий);

корпус: скляний;

У рідинних термометрах в якості наповнювача використовується пентан, етиловий спирт, гас та інші рідини. Для більшої наочності дані рідини підфарбовують в червоний колір.

До переваг таких термометрів відноситься висока точність, простота і дешевизна. До недоліків - крихкість, неремонтоздатність.



Рисунок 25 Спиртовий термометр.

Анемометр МЕГЕОН 11006 (Рис. 26) використовується для вимірювання температури і швидкості повітряного потоку. Всі свідчення відображаються на невеликому ЖК-дисплеї з підсвічуванням. Функціонал пристрою дозволяє показувати мінімальну, середнє, максимальне і поточне вимірювання, а так само

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат.

ДР.401-НТ.№19061.ПЗ

Арк.

44

сигналізувати про пронизливому вітрі. Завдяки застосуванню сучасних передових матеріалів досягається низький опір коченню крильчатки.

Переваги:

- Вибір шкали вимірювання температури Цельсія або Фаренгейта (С / F);
- п'ять одиниць вимірювання швидкості повітряного потоку: м / с, км / год, фут / хв, вузли, милі в годину;
- фіксація поточного показання;
- заднє підсвічування РК-дисплея забезпечує можливість використання приладу в будь-який час доби;
- ручне / автоматичне вимикання живлення;
- показання сили вітру в балах за шкалою Бофорта;
- індикатор пронизливого вітру;
- кейс - для зручності зберігання і транспортування приладу;
- відносна вологість при експлуатації: 40-85%;
- відносна вологість при зберіганні: 10-90%;
- температура зберігання: від -20 до +60 градусів.



Рисунок 26 Анемометр МЕГЕОН 11006.

Компактні електронні ваги Elenberg KS 110 (Рис. 27) дозволяють точно зважувати сипучі і рідкі продукти вагою до 5 кілограм з точністю до 1 грама.

Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат

ДР.401-НТ.№19061.ПЗ

Арк.

45

Зважування можна робити в спеціальній скляній чаші. Додаткова зручність в наявності автовідключення, індикатора заряду батареї і можливості переналаштування індикації ваги (г/фунт/унція). Результати зважування відображаються на великому LCD дисплеї.



Рисунок 27 Електронні ваги Elenberg KS 110.

Також для зручності вимірювання маси сировини в процесі проведення експериментів, стенд було обладнано стаціонарними вагами (Рис. 28), що в свою чергу нам дало змогу вимірювати масу сировини не дістаючи її з сушильної камери та не витрачаючи теплову енергію.

Компактні електронні ваги від фірми виробника Portable Electronic Scale мають можливість зважування предметів від 10 грам до 40 кілограм включно з точністю до 10 грам.

Переваги: простота використання; автоматичне відключення; є функція блокування; відображення температури; є індикатор низького рівня заряду батареї і перевантаження.

Для дослідження розподілу температури на поверхні стенду було використано смартфон CAT S60 (Рис. 29). Даний смартфон є одним із перших в світі смартфонів який обладнаний тепловізором. В ньому вбудований тепловізор виробництва FLIR, за допомогою якого можна знаходити місця втрати тепла з приміщення, місця перегріву електропроводки, проводити вимірювання температури різних об'єктів і навіть бачити в темряві чи задимленні. Також

Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат

ДР.401-НТ.№19061.ПЗ

Арк.

46

можна проводити зйомку фото і відео з розмірами (80х60 пікселів). Його радіус дії складає до 30 м.



Рисунок 28 Електронні ваги Portable Electronic Scale.



Рисунок 29 Смартфон CAT S60.

### **3.2 Перевірка лабораторного стенду на аеродинамічні та температурні показники**

Після вивчення літератури по окремих частинах стенду і перших запусків, ми поставили перед собою мету: тестування даного лабораторного стенду конвективної сушки. На першому етапі за мету було поставлено задачу визначення розподілу температур і потоків повітря у об'ємі сушарки, що може

Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат

ДР.401-НТ.№19061.ПЗ

Арк.

47

бути змодельоване за допомогою кількості тенів так і відповідно змін обертів нагнітача. Що дає змогу регулювати інтенсивність потоку повітря.

### 3.2.1 Перевірка лабораторного стенду на аеродинамічні показники

На першому етапі я вирішив протестувати стенд на аеродинамічні характеристики з метою визначення «застійних зон».

Так, для перевірки розподілу повітряних потоків у сушильній камері, були проведені лабораторні випробування з візуалізації руху повітря через камеру. Щоб визначити розподіл потоків у різних площинах по висоті камери, до сушильних рамок рівномірно були прикріплені короткі нитки. Після розміщення сушильних рамок по всій висоті сушильної камери й увімкнення нагнітача, через оглядове віконце були проведені візуальні спостереження з метою визначення «застійних зон» (Рис 30). Досліди показали наявність таких зон, через те, що на деяких частинах рамок нитки майже не ворушилися. Для запобігання утворення «застійних зон» та задля рівномірного розподілу повітряних потоків, у камері було встановлено шибер, що дало змогу вирівняти епюру повітряного потоку по всій висоті камери й одночасно проводити сушіння на всіх ярусах даного стенду[5,7,10].



Рисунок 30 Зображення «Застійних зон».

### 3.2.2 Дослідження температурного режиму

Після визначення аеродинамічних характеристик лабораторного стенда були проведені дослідження температурного режиму устаткування. Метою проведених досліджень було визначення можливості регулювання кількісних та якісних показників параметрів агента сушіння, а саме його температури та кількості. Перший параметр регулювався шляхом увімкнення одного, двох або трьох ТЕНів, відповідно сумарною тепловою потужністю 2,5, 5,0 та 7,5 кВт.

Другий параметр – це кількість (швидкість) повітря зміна якого здійснювалась частотним перетворювачем. Даний експеримент проводився в 3 етапи, при різній комбінації увімкнення одного, двох та трьох ТЕНів відповідно.

На кожному з етапів проводилася фіксація температури при зміні витрат сушильного агента (повітря). За результатами випробовувань було збудовано графік зміни температури у камері в залежності від швидкості агента сушіння (Рис. 31) [5,7,10].

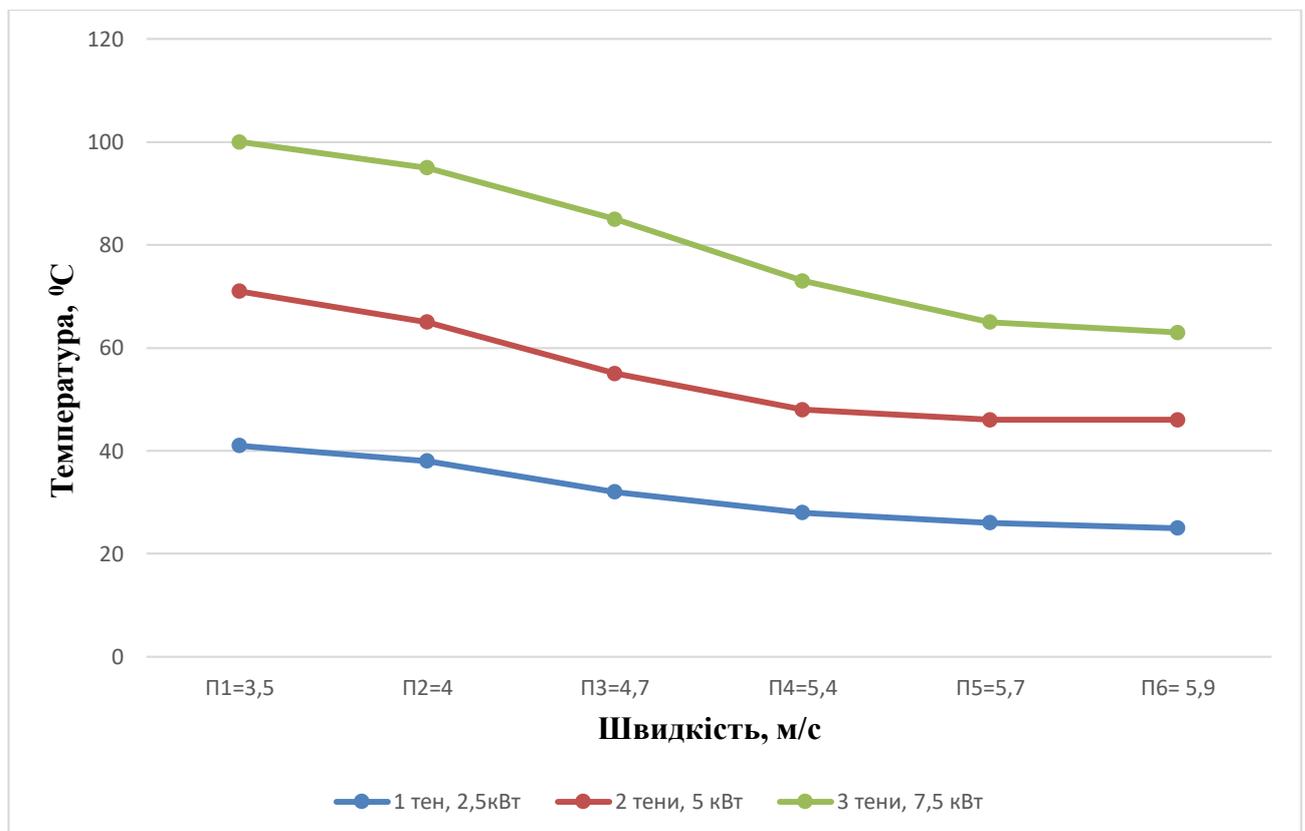


Рисунок 31 Температурний режим.

Наступним етапом було дослідження стенду на температурні показники за допомогою тепловізора і було виявлено що в нас шафа сушильної камери має найбільші тепловтрати (Рис. 32). Отже, з цього ми можемо зробити висновок, що для заощадження теплової енергії, а відповідно їй і електричної нам потрібно збільшити товщину утеплювача як самої сушильної камери, так і калориферної установки.



Рисунок 32 Знімок стенда з тепловізора

Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат

ДР.401-НТ.№19061.ПЗ

Арк.

50

## РОЗДІЛ 4 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ СУШІННЯ ФРУКТІВ (МАНДАРИН)

Останнім часом в Україні та за кордоном розроблені нові способи сушіння, що дають можливість значно інтенсифікувати процес і максимально зберегти харчову і біологічну цінність фруктів. До таких способів належать сушіння в киплячому і віброкиплячому шарі, а також сушіння сублімацією.

Промислове виробництво сухофруктів із застосуванням технологічного устаткування для підготовки плодів до сушіння і самого сушіння все більше поширюються в районах розвинутого плідництва з помірним кліматом (південь України). Штучне сушіння забезпечує одержання готових продуктів високої якості.

Якість сушених фруктів значною мірою залежить від товарних і біохімічних властивостей сировини. До основних і загальних вимог, що ставляться до придатної для сушіння сировини, є високий вміст сухих речовин і цукрокислотний показник, що забезпечує гарні смакові якості продукту і високі техніко-економічні показники виробництва.

До окремих видів сировини встановлюються специфічні вимоги: так, яблука повинні мати м'якоть, що не темніє на повітрі, кісточкові — мати низький вміст кісточок і великі плоди тощо.

Вітамінний, мінеральний склад і колір плодів також є важливими показниками у оцінці якості сировини, використовуваної для сушіння.

Дослідження процесу конвективного сушіння фруктів і зміни їхньої якості показали, що найраціональніше вести сушіння при температурі сушильного агента порядку 60...80 °С, за якої біохімічні перетворення проходять найменш інтенсивно.

Встановлена також необхідність попереднього теплового оброблення сировини та її сульфитації. У сировину, не піддану бланшуванню чи сульфитації, під активним впливом ферментів, які гідролізуються, і хімічних каталізаторів

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат.

ДР.401-НТ.№19061.ПЗ

Арк.

51

(наприклад водневих іонів) у процесі сушіння змінюється співвідношення між простими і складними вуглеводами: спочатку зменшується вміст крохмалю і геміцелюлози і збільшується вміст цукрів, а потім неминуче відбуваються їх втрати внаслідок розвитку реакцій окиснення. Частина цукрів при цьому утворює продукти неповного окиснення: ди- і трикарбонові кислоти, що при декарбоксилюванні переходять в одноосновні кислоти.

У кислому середовищі при нагріванні утворюються похідні фурфуролу, проходять цукроамінні реакції, карамелізація цукрів тощо.

При сушінні фруктів разом з парами води видаляються різні леткі речовини: альдегіди, спирти, складні ефіри й інші речовини, що зумовлюють аромат. Крім того, з нелетких кислот, цукрів та інших сполук у результаті біохімічних реакцій і хімічної деструкції утворюються і видаляються нові леткі сполуки. Частина амінокислот унаслідок дезамінування може переходити в аміак і леткі альдегіди.

Одночасно з втратами спостерігається часткове збільшення вмісту сухих речовин за рахунок окисних реакцій з приєднанням кисню; у такий спосіб загальні втрати маси при сушінні частково компенсуються[12].

При опрацюванні різних літературних джерел було виявлено недостатньо інформації, яка стосується технології сушіння citrusових, зокрема мандарин.

В різних джерелах сушать сировину по різному в залежності від умов. Одні сушать на сонці інші в духовці, також сушать на сковороді, в електросушарках, в мікрохвильовках та спеціальних сушарнях. Тому при кожному із цих способів і час сушіння і температура будуть різними. Також потрібно враховувати товщину кусочків чи скибок, вміст вологи, вміст цукру, вологості повітря і тому подібне.

Для отримання якісного кінцевого продукту потрібно вибирати спілі фрукти з високим вмістом цукру та вітамінів. Перед сушінням рекомендують обмити, нарізати (товщиною не більше 3-5мм.) або обчистити і полупати на скибочки в залежності від способу сушіння.

Все що стосується конвективного сушіння citrusових рекомендації у всіх схожі це температура в межах 50-80°C . Отже перейдимо вже до експериментів.

Зм	Арк.	№ док.	Підпис	Дат.

ДР.401-НТ.№19061.ПЗ

Арк.

52

#### 4.1 Проведення та аналіз дослідів

Для порівняння впливу швидкості потоку повітря та температури на процес сушіння, було проведено ряд експериментів. Умовами експериментів були: стала теплова потужність, стала температура сушильного агента (повітря) протягом усього експерименту та однаковий час сушіння. За основу було прийнято 3 години, тобто 180 хвилин. Для сушіння було використано мандарин (Рис. 33). Також треба зазначити, що порівнювати ми будемо по втраті маси мандарин в часі.



Рисунок 33 Мандарин.

Всі експерименти були проведені при сталій тепловій потужності та температурі протягом експерименту, а також при сталій швидкості сушильного агента (повітря).

Перший експеримент було проведено при застосуванні 2 тенів потужністю 2,5 кВт кожний, при середній температурі 54°C та швидкості потоку теплоносія 6,4 м/с. Положення частотного регулятора було на 5 поділці. Витрати теплоносія склали 460,8 м<sup>3</sup>/год при діаметрі вхідного та вихідного отворів 160мм.

Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат

ДР.401-НТ.№19061.ПЗ

Арк.

53



Рисунок 34 Підготовка сировини до сушіння.

До початку експерименту було ввімкнено стенд для того щоб температурний режим в камері сушарки був сталим, сировина (мандарин) була помита і очищена від шкірки (цедри) (Рис. 34). В даному експерименті сировину вирішив сушити скибочками. Перед розміщенням сировини в камеру сушарки було зважено саму решітку (Рис. 35) маса якої складає 550 грам. Та визначено масу самої сировини яка складає 965 грам.

Сировину на решітку було розкладено тонким шаром по всій площі решітки для більш рівномірного висушування (Рис. 36). Після зважування я сировину помістив в сушильну камеру (Рис. 37) де проводилося сушіння протягом 3-х годин.

Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат

ДР.401-НТ.№19061.ПЗ

Арк.

54

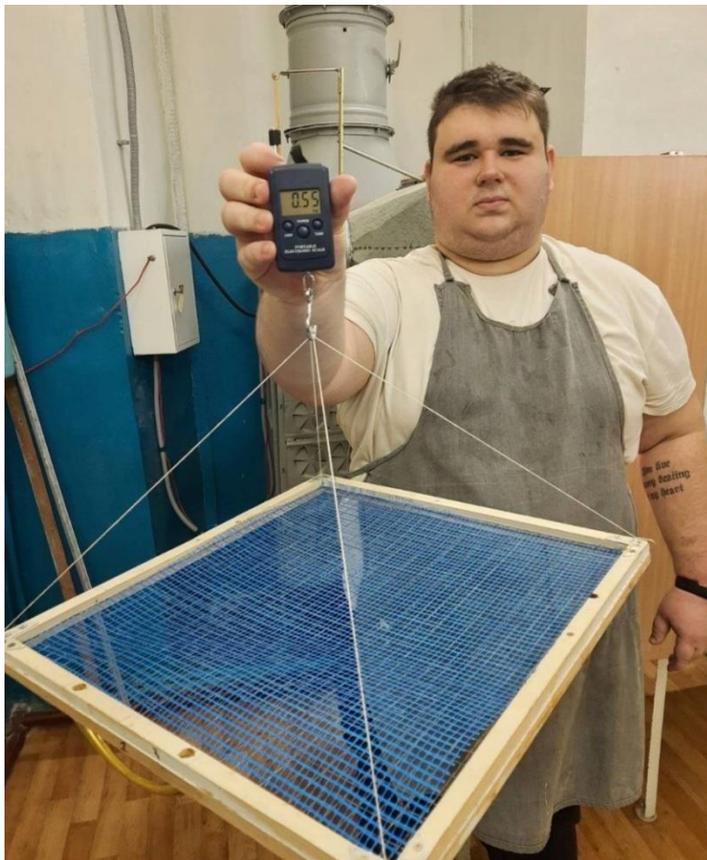


Рисунок 35 Зважування решітки для розміщення сировини.



Рисунок 36 Викладення сировини на решітку.

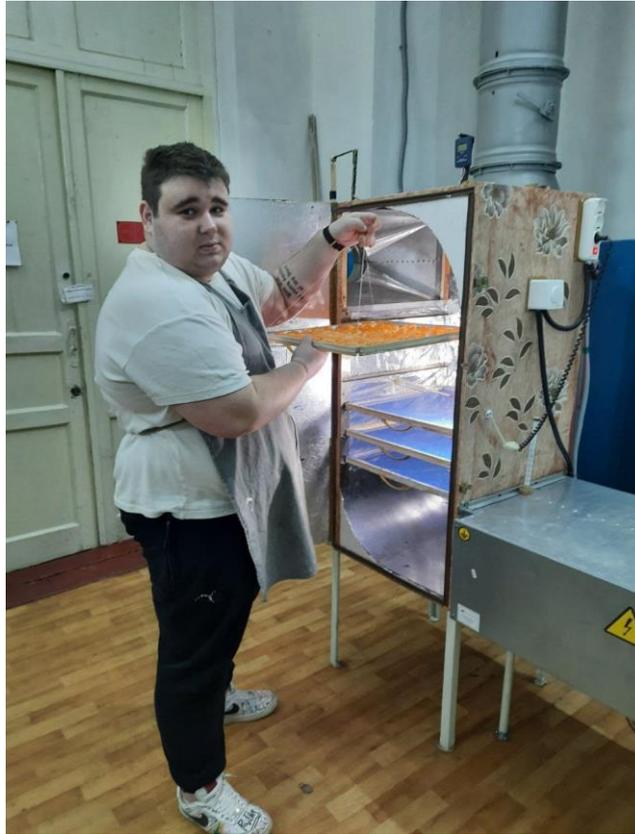


Рисунок 37 Розміщення решітки в сушарку.

Для визначення втрати маси, мандарин було зважено на початку і в кінці експерименту, а також проведені контрольні заміри маси сировини кожні 15 хвилин експерименту стаціонарними вагами (Рис. 38).



Рисунок 38 Зважування сировини стаціонарними вагами

Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат

ДР.401-НТ.№19061.ПЗ

Арк.

56

Стационарні ваги давали нам змогу робити контрольні виміри маси сировини без відкривання дверцят шафи, що в свою чергу економило теплову енергію і ми не витрачали її даремно.

Для більш зручного розуміння всі дані по першому досліді зводжу в таблицю 1. По отриманим показникам маси будуємо графік втрати маси в часі. З даного графіку ми можемо дослідити втрату маси протягом всього експерименту (Рис. 39).

Таблиця 1 Результати лабораторних досліджень (Дослід 1)

Час, хв	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
Теплова потужність, кВт	5												
Швидкість, м/с	6,4												
Маса, грам	965	910	910	910	910	860	860	860	860	810	810	810	810
Температура, °C	перед камерою	76	78	78	76	78	80	80	80	81	80	80	80
	в камері	50	53	53	52	53	53	55	55	55	55	55	55
	після камери	50	53	53	52	54	55	55	55	55	55	53	55



Рисунок 39 Втрата маси в часі (Дослід 1).

Також було побудовано графік зміни температури в сушильній шафі в процесі сушіння для наглядного розуміння (Рис. 40).

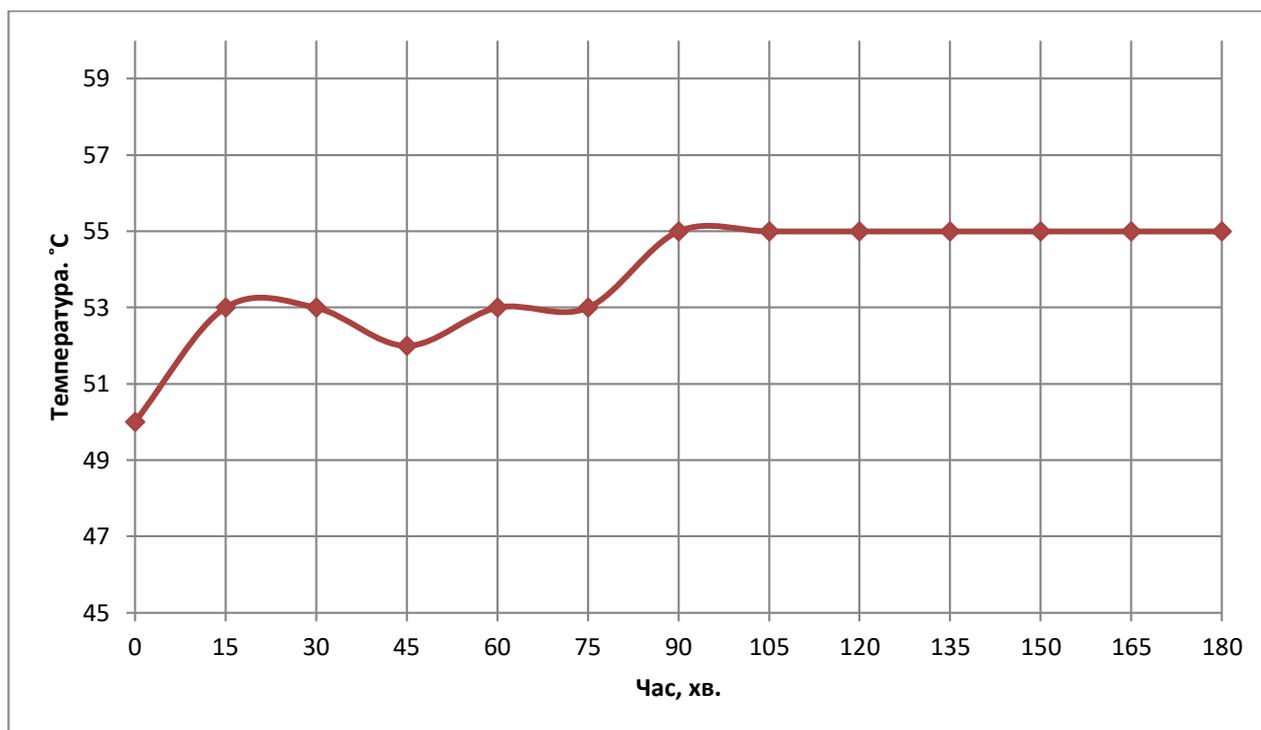


Рисунок 40 Зміна температури в процесі сушіння (Дослід 1)

За результатами проведених досліджень ми можемо проаналізувати протікання процесу сушіння.

Подивившись на графік втрати маси в часі (Рис. 39) можна сказати наступне, що втрата маси в часі за увесь процес сушіння відбувалася не лінійно. І за 3 години процесу сушіння ми отримали незначну втрату вологи сировини, приблизно 16 % від загальної маси, що не є добре, так як мандарин складається приблизно на 80% з вологи.

Після завершення експерименту я дістав сировину з сушильної шафи (Рис. 41) та охолодив її до кімнатної температури.

При візуальному огляді було зрозуміло що сировина не висохла повністю, тому що при сушінні засохла тоненька плівка яка обвиває кожну скибку мандарину і тим самим законсервувала вологу в середині і не дала їй можливості випаруватись. Тому на мою думку такий спосіб не досконалий і при проведенні другого експерименту я це врахував.



Рисунок 41 Сировина наприкінці експерименту

Другий експеримент було проведено аналогічно першому, але уже з врахуванням недоліків які нам показав перший експеримент, а саме було прийнято рішення попроколувати шпажкою кожну скибку мандарина перед сушінням для більш якісного процесу сушіння. Цей експеримент було також проведено при застосуванні 2 тенів потужністю 2,5 кВт кожний, при середній температурі 54°C та швидкості потоку теплоносія 6,4 м/с. Положення частотного регулятора було на 5 поділці. Витрати теплоносія склали 460,8 м<sup>3</sup>/год при діаметрі вхідного та вихідного отворів 160мм.

До початку експерименту було ввімкнено стенд для того щоб температурний режим в камері сушарки був сталим, сировина (мандарин) була помита і очищена від шкірки (цедри). В даному експерименті сировину вирішив також сушити скибочками, та як зазначав вище були попроколувані шпажкою кожна скибка мандарин, для якісного сушіння. Перед розміщенням сировини в камеру сушарки було зважено саму решітку маса якої складає 550 грам. Та визначено масу самої сировини яка складає 950 грам (Рис.42).

Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат

ДР.401-НТ.№19061.ПЗ

Арк.

59



Рисунок 42 Зважування сировини перед проведенням досліду.

Сировину на решітку було розкладено тонким шаром по всій площі решітки для більш рівномірного висушування (Рис. 43). Після зважування я сировину помістив в сушильну камеру (Рис. 44) де проводилося сушіння протягом 3-х годин.



Рисунок 43 Викладення сировини на решітку.

Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат

ДР.401-НТ.№19061.ПЗ

Арк.

60



Рисунок 44 Решітка з сировиною в сушильній камері.

Для визначення втрати маси, мандарин було зважено на початку і в кінці експерименту, а також проведені контрольні заміри маси сировини кожні 15 хвилин експерименту стаціонарними вагами (Рис. 45).



Рисунок 45 Зважування сировини стаціонарними вагами

Для більш зручного розуміння всі дані по другому досліді зводжу в таблицю 2. По отриманим показникам маси будуємо графік втрати маси в часі. З даного графіку ми можемо дослідити втрату маси протягом всього експерименту (Рис. 46).

Таблиця 2 Результати лабораторних досліджень (Дослід 2)

Час, хв	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
Теплова потужність, кВт	5												
Швидкість, м/с	6,4												
Маса, грам	950	890	890	890	890	840	840	840	780	780	780	780	730
Температура, °С	перед камерою	70	74	74	78	78	78	78	78	78	78	78	78
	в камері	50	51	52	54	55	54	55	55	55	60	60	60
	після камери	50	52	53	54	55	54	55	55	55	55	55	55

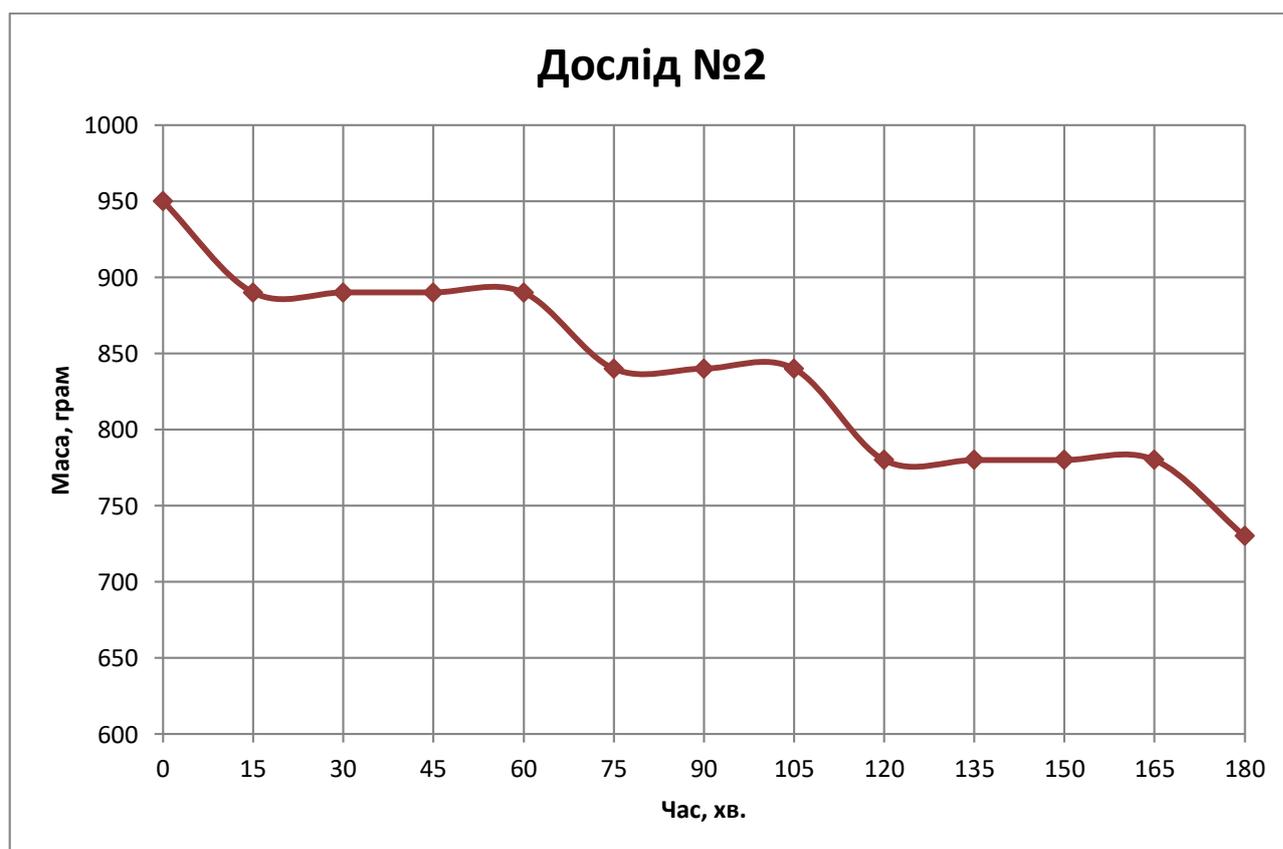


Рисунок 46 Втрати маси в часі (Дослід 2).

За результатами проведених досліджень ми можемо проаналізувати протікання процесу сушіння.

Подивившись на графік втрати маси в часі (Рис. 46) можна сказати наступне, що втрата маси в часі за увесь процес сушіння відбувалася не лінійно, а так як і в першому досліді ступінчасто. І за 3 години процесу сушіння ми отримали незначну втрату вологи сировини, приблизно 23 % від загальної маси, що вже є краще в порівнянні з 1 експериментом, але недостатньо, так як сировина ще залишалася достатньо сирою. Також потрібно зазначити що проколування шкірки мандарини ми робили не лише на початку а й повторно на 105 хвилині експерименту, так як при візуальному огляді стало зрозуміло що ті отвори від шпажок затягнулись на перших 30 хвилинах експерименту.

Отже можна зробити висновок що проколування скибочок мандарина дає свої результати, але це потрібно робити систематично (хочаб кожні 15-30 хвилин на протязі всього процесу сушіння). Після завершення експерименту я дістав сировину з сушильної шафи та охолодив її до кімнатної температури.

Наступний третій експеримент я прийняв рішення сушити вже не скибочками як в першому та другому експериментах а нарізати мандарин зі шкіркою (цедрою) тоненькими слайсами. Цей експеримент було також проведено при застосуванні 2 тенів потужністю 2,5 кВт кожний, при середній температурі 45°C та швидкості потоку теплоносія 6,4 м/с. Положення частотного регулятора було на 5 поділці. Витрати теплоносія склали 460,8 м<sup>3</sup>/год при діаметрі вхідного та вихідного отворів 160мм.

Перед початком експерименту стенд було запущено та встановлено сталий температурний режим, сировина (мандарин) була помита та нарізана (Рис. 47). Перед розміщенням сировини в камеру сушарки було зважено саму решітку маса якої складає 550 грам. Та визначено масу самої сировини яка складає 1200 грам.

Сировину на решітку було розкладено тонким шаром по всій площі решітки для рівномірного висушування (Рис. 47). Після зважування я сировину помістив в сушильну камеру (Рис. 48) де проводилося сушіння протягом 3-х годин.

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат.

ДР.401-НТ.№19061.ПЗ

Арк.

63



Рисунок 47 Підготовка сировини до сушіння



Рисунок 48 Сировина в сушильній камері в процесі сушіння.

Для визначення втрати маси мандарину проводилися контрольні заміри її ваги кожні 15 хвилин експерименту.

Для більш зручного розуміння всі дані по третьому досліді зводжу в таблицю 3. По отриманим показникам маси будуємо графік втрати маси в часі. З даного графіку ми можемо дослідити втрату маси протягом всього експерименту (Рис. 49).

Таблиця 3 Результати лабораторних досліджень (Дослід 3)

Час, хв	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
Теплова потужність, кВт	5												
Швидкість, м/с	6,4												
Маса, грам	1200	1070	1010	960	960	890	830	830	830	770	770	770	770
Температура, °С	перед камерою	90	88	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
	в камері	50	50	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
	після камери	50	50	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45

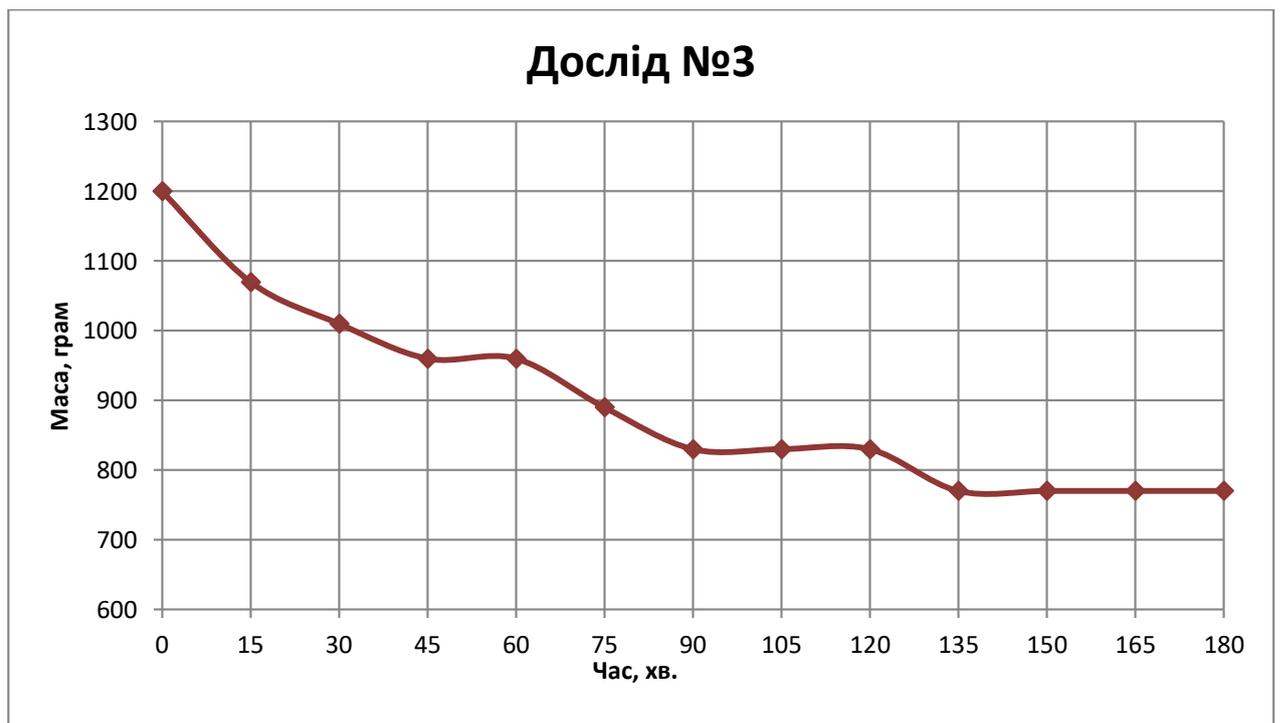


Рисунок 49 Втрата маси в часі (Дослід 3).

За результатами проведених досліджень проаналізуємо протікання процесу сушіння. Подивившись на графік втрати маси в часі (Рис. 49) можна сказати наступне, що втрата маси в часі за увесь процес сушіння відбувалася аналогічно першим двом дослідом, тобто ступінчато. І за 3 години процесу сушіння ми втратили приблизно 35% вологи сировини від загальної маси, що є набагато краще в порівнянні з першими двома способами сушіння.

Після завершення експерименту я дістав сировину (Рис. 50) з сушильної шафи та охолодив її до кімнатної температури.



Рисунок 50 Готова висушена сировина (Дослід 3).

При візуальному огляді сировини було виявлено, що вона висушена якісно, оскільки вона не потемніла, та не була пересушена. Отже можна сказати що цей експеримент був вдалим і ми отримали якісну висушену сировину з мінімальним енерговитратами та за короткий проміжок часу.

Четвертий експеримент був проведений аналогічно третьому, але мандарин був очищений від шкірки (цедри) і нарізаний тоненькими слайсами. Аналогічно першим трьом експериментам параметри процесу сушіння були сталими, тобто ми застосували все ті ж 2 тєни потужністю 2,5 кВт кожний при середній температурі 47°C та швидкості потоку теплоносія 6,4 м/с. Положення частотного регулятора було на 5 поділі. Витрати теплоносія склали 460,8 м<sup>3</sup>/год при діаметрі вхідного та вихідного отворів 160мм.



Рисунок 51 Підготовка сировини до сушіння

Перед початком експерименту стенд було запущено та встановлено сталий температурний режим, сировина (мандарин) була помита, очищена від шкірки (цедри) та нарізана тоненькими слайсами (Рис. 51). Перед розміщенням сировини в камеру сушарки було зважено саму решітку маса якої складає 550 грам. Та визначено масу самої сировини яка складає 980 грам.

Сировину на решітку було розкладено тонким шаром по всій площі решітки для більш рівномірного висушування (Рис. 51). Після зважування я сировину помістив в сушильну камеру (Рис. 52) де проводилося сушіння протягом 3-х годин.



Рисунок 52 Розміщення сировини в сушильну камеру.

Контрольні виміри маси сировини проводились кожні 15 хвилин експерименту.

Аналогічно попереднім експериментам всі дані по четвертому досліді зводжу в таблицю 4. По отриманим показникам маси будуємо графік втрати маси в часі. З даного графіку ми можемо дослідити втрату маси протягом всього експерименту (Рис. 53).

Таблиця 4 Результати лабораторних досліджень (Дослід 4)

Час, хв	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
Теплова потужність, кВт	5												
Швидкість, м/с	6,4												
Маса, грам	980	890	790	790	680	680	680	660	630	630	620	610	610
Температура, °С	перед камерою	70	70	70	70	70	70	70	80	80	80	70	70
	в камері	45	45	45	45	45	45	45	50	55	55	45	45
	після камери	45	45	45	45	45	45	45	50	55	55	45	45

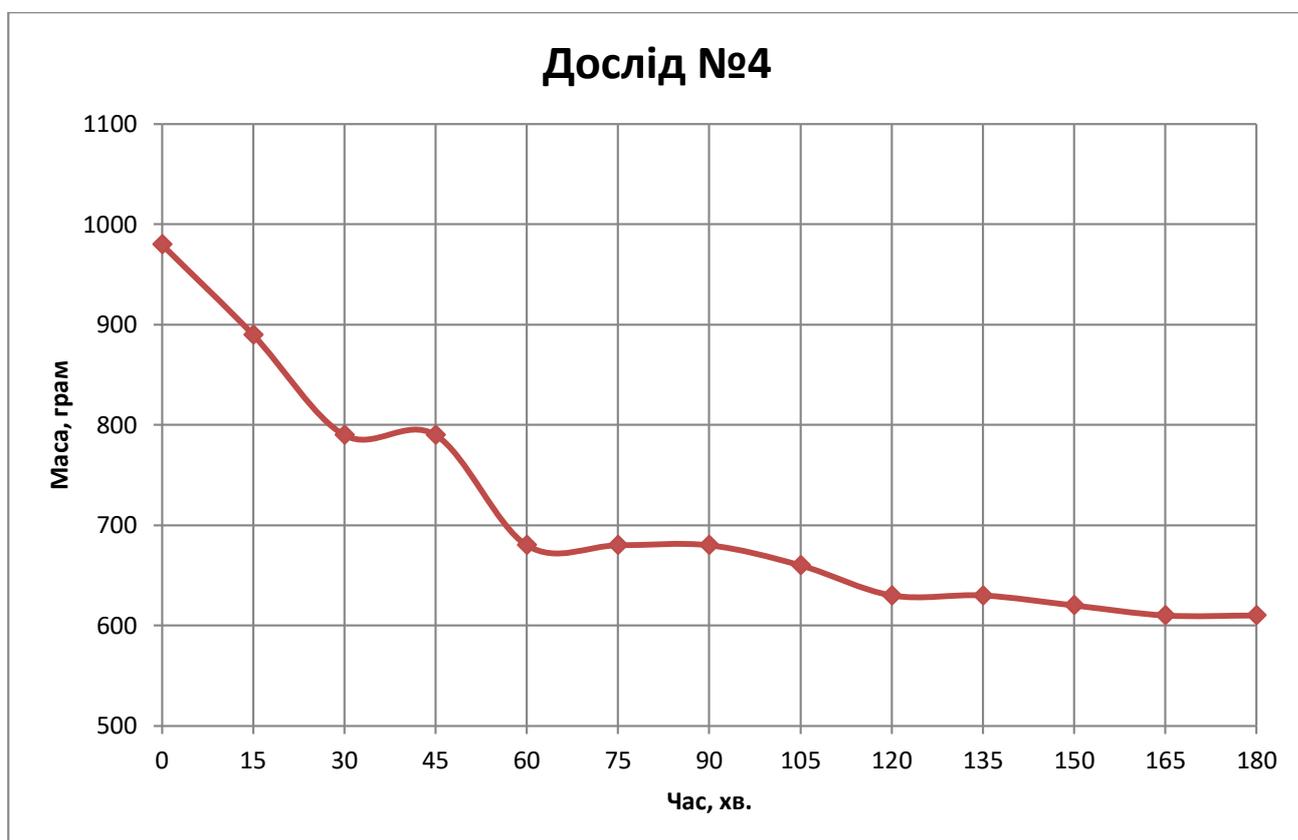


Рисунок 53 Втрата маси в часі (Дослід 4).

За результатами проведених досліджень проаналізуємо протікання процесу сушіння. Подивившись на графік втрати маси в часі (Рис. 53) можна сказати наступне, що втрата маси в часі активно відбувалась в першу годину сушіння. І за 3

години процесу сушіння ми втратили приблизно 38% вологи сировини від загальної маси, що є найбільшим показником втрати маси в порівнянні з іншими експериментами.

Після завершення експерименту я дістав сировину (Рис. 54) з сушильної шафи та охолодив її до кімнатної температури.



Рисунок 54 Готова висушена сировина (Дослід 4).

При візуальному огляді сировини було виявлено, що вона висушена не повністю і для якісного кінцевого продукту її потрібно було сушити ще. Також було замічено що в одній частині решітки сировина мала темніше забарвлення ніж на всій решітці. Отже можна сказати що цей експеримент був не зовсім вдалим, так як сировина потемніла і була не досушена.

Отже можна зробити такі висновки: з усіх проведених експериментів найбільш оптимальним для сушіння мандарина я вважаю третій дослід, тому що ми отримали якісну висушена сировину презентабельного вигляду за короткий проміжок часу та з мінімальними енергозатратами. Також можна сказати, що якщо сировину сушити в межах приблизно від 50 °С до 70 °С, то доцільно використовувати лише один тен, сушіння потрібно проводити тенами які розміщені якнайближче до сушильної камери, і сушити сировину великими партіями, так як сушити її малими партіями не є рентабельно, і це дуже енергозатратно. Щоб досягти максимального результату економії енергоресурсів потрібно проводити заходи з термомодернізації сушильної установки, а саме теплоізолювати корпус калориферу, та саму сушильну камеру.

									Арк.
									71
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат.	ДР.401-НТ.№19061.ПЗ				

## ВИСНОВКИ

1. Попередні випробування лабораторного стенда дають підстави говори про можливість використовувати його для проведення процесів сушіння овочів, фруктів, ягід, грибів та іншої рослинної сировини як в навчальному процесі, так і для проведення науково-дослідних робіт.

2. Аеродинамічні випробування розробленого стенда дають підстави говорити про доцільність організації руху агента сушіння чітко по вертикалі, тобто для запобігання утворення “застійних зон” підведення та відведення повітря бажано здійснювати відповідно в днище та з кришки камери.

3. Дослідження температурного режиму лабораторного стенду дають підстави говорити про можливість регулювання кількісно-якісних показників в досить великому діапазоні.

4. Порівняльний аналіз способів сушіння з точки зору термінів отримання якісного кінцевого продукту дає перевагу на користь штучного конвективного сушіння в порівнянні з природнім. Збільшення експлуатаційних витрат при цьому способі сушіння потребують проведення додаткових лабораторних досліджень.

5. Для отримання якісного кінцевого продукту бажано використовувати устаткування для сушіння сировини, яке дає можливість експлуатаційникам одночасно змінювати параметри агента сушіння, а саме як його температуру, так і кількість повітря.

6. Для того щоб досягти максимального результату економії енергоресурсів потрібно проводити заходи з термомодернізації сушильної установки, а саме теплоізоляція корпусу калориферу, та самої сушильної камери.

7. З проведених дослідів визначено найбільш доцільний варіант сушіння мандарина це є 3 дослід, тому що ми отримали якісну висушена сировину презентабельного вигляду за короткий проміжок часу та з мінімальними енергозатратами.

Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат

ДР.401-НТ.№19061.ПЗ

Арк.

72

## ЛІТЕРАТУРА

1. Інтернет ресурс: «Продовольча криза (2022) – Вікіпедія»
2. Тарасенко Т. А. Теоретичне дослідження способів сушіння овочів та фруктів. / Тарасенко Т. А., Євлаш В. В., д. т. н., проф., Неміріч О. В., к. т. н., Вашека О. М., к. т. н., Гавриш А. В., к. т. н., Кравченко О. І. // Науковий вісник ЛНУВМБТ імені С.З. Гжицького Том 17 № 4 (64), 2015.
3. Ткаченко С. Й. Сушильні процеси та установки : навч. пос./ С. Й.Ткаченко, О. Ю.Співак. – Вінниця: ВНТУ, 2009. – 86 с. – Режим доступу: <http://tkachenko.vk.vntu.edu.ua/file/cda121b838067ae3ea7278d7f3afc556.pdf>
4. Схеми сушильних установок та типові конструкції сушарок консп. лекц. Інтернет ресурс: <https://dl.sumdu.edu.ua/textbooks/22852/266179/index.html>
5. Гузик Д.В. Експериментальні випробування лабораторного стенда для дослідження процесів сушіння. / Д. В. Гузик, М. П. Єршов – Київ: КНУБА, 2018. - 52-60.
6. Інтернет ресурс: <http://www.systemair-ukraine.com/ua/k-kv.html>.
7. Гузик Д. В. Експериментальні дослідження процесів сушіння лікарських рослин / Д. В. Гузик, О. Б. Борщ, А. В. Рибалка // Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання. - 2019. - Вип. 30. - С. 43-50.
8. Гузик Д.В. Лабораторні дослідження процесів сушіння лікарських трав при застосуванні примусової конвекції / Д.В.Гузик, А.В.Рибалка // Тези 71-ої наукової конференції професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів університету. Том 2. (Полтава, 22 квітня – 17 травня 2019 р.) – Полтава: Полт НТУ, 2019. – С. 180-181.
9. Тарасенко Т. А. Теоретичне дослідження способів сушіння овочів та фруктів / Тарасенко Т. А., Євлаш В. В., д. т. н., проф., Неміріч О. В., к. т. н., Вашека О. М., к. т. н., Гавриш А. В., к. т. н., Кравченко О. І. // Науковий вісник ЛНУВМБТ імені С.З. Гжицького : Том 17 № 4 (64), - 2015. – с. 148-158.

Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат

ДР.401-НТ.№19061.ПЗ

Арк.

73



*Міністерство освіти і науки України  
Національний університет "Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка"  
Кафедра теплогазопостачання, вентиляції та теплоенергетики*

*Дипломна робота*

*на тему:*

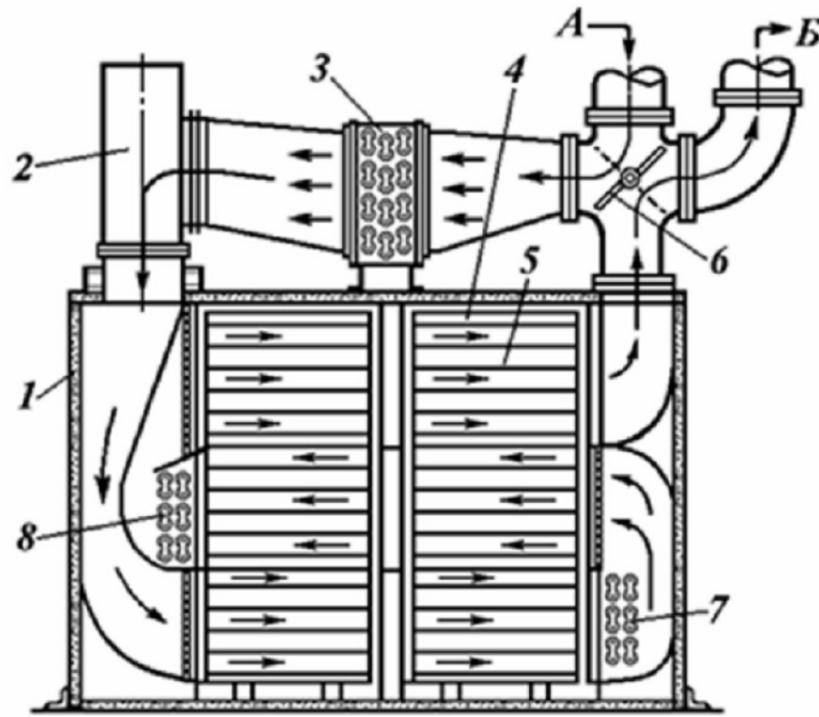
*Експериментальні дослідження процесів сушки сировини  
в лабораторних умовах*

*Виконав: Позорелий К.Ю.  
Керівник: Гузик Д.В.*

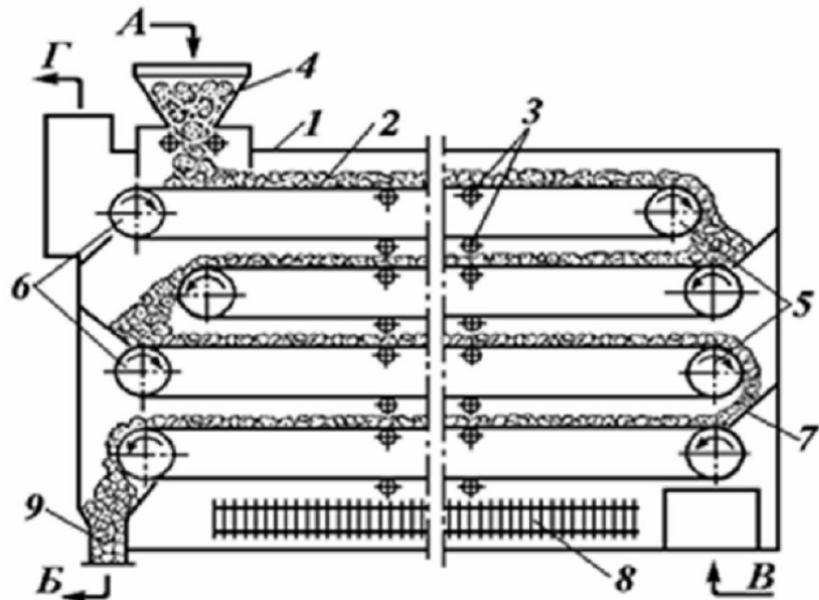
*Полтава 2023*

Погоджено:		
Зач. № №		
Підпис / Дата		
№ № оп.		

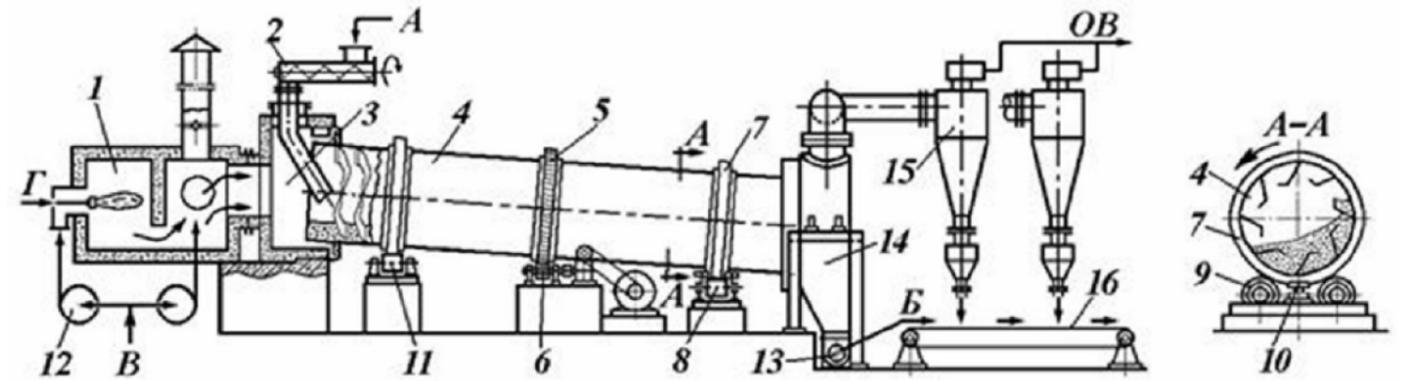
# Види сушарок



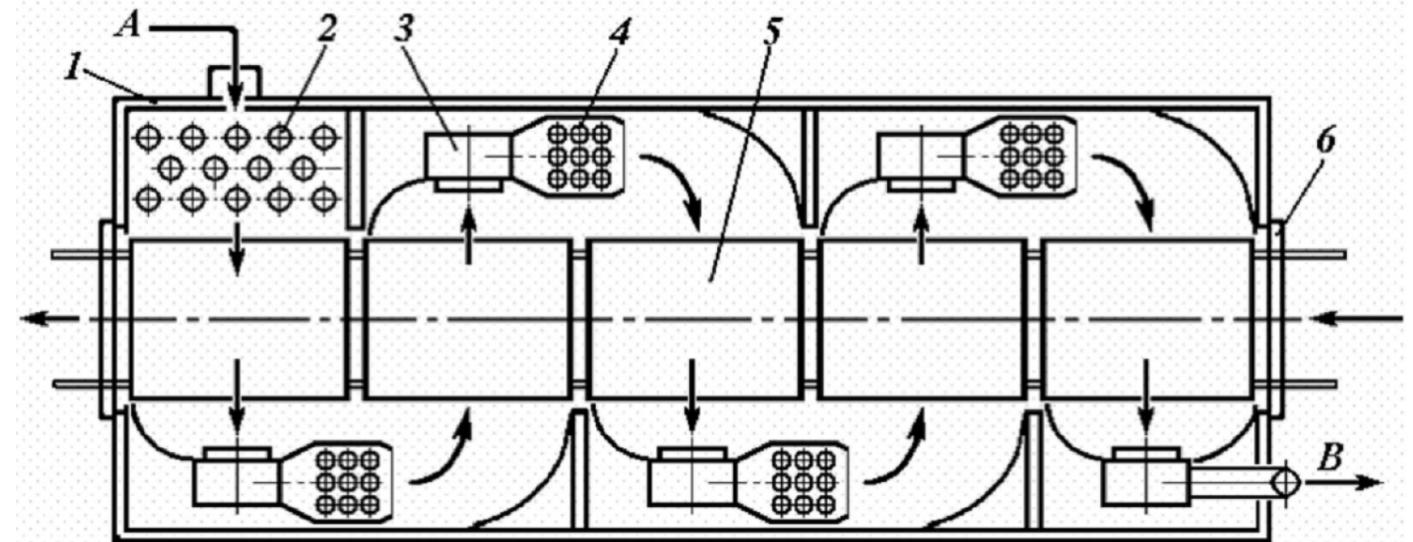
Камерна сушарка: 1 - корпус сушарки; 2 - вентилятор; 3, 7, 8 - калорифери; 4 - вагонетки; 5 - полиці з вологим матеріалом; 6 - шибер; Потіки: А - повітря свіже; Б - повітря в ідпрацьоване.



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



Сушильна установка з барабанною сушаркою: 1 - топка; 2 - живильник; 3 - камера завантажувальна; 4 - барабан; 5 - ввінець зубчастий; 6 - станція привода; 7 - бандаж опорний; 8 - станція упорно-опорна; 9 - ролик опорний; 10 - ролик упорний; 11 - станція опорна; 12 - вентилятор; 13 - шнек транспортний; 14 - камера вивантажувальна; 15 - пілометрична установка; 16 - транспортер; Потіки: А - вологий матеріал; Б - висушений продукт; В - повітря атмосферне; Г - паливо; ОВ - в ідпрацьоване повітря.



Тунельна багато-зонна сушарка (вид зверху): 1 - корпус; 2 - калорифер; 3 - вентилятор; 4 - калорифер додатковий; 5 - вагонетка; 6 - двері розсувні; Потіки: А - повітря свіже; Б - повітря в ідпрацьоване.

						ДР.401-НТ.№19061ГЧ		
						Експериментальні дослідження процесів сушки сировини в лабораторних умовах		
Зм.	Кільк.	Арх.	№ док.	Підпис	Дата	Склад	Архив	Архив
Розробив				Погорелій К.Ю.		Р	2	10
Перевірив				Гузик Д.В.				
Зад.кафед.				Голік Ю.С.				
Начинкрот				Гузик Д.В.				
						Види сушарок  Національний університет "Острозька політехніка" імені Орія Кондратюка		

Погоджено:

Зам. № 19

Підпис і дата:

№ 19 ар.

# Загальні відомості

Україна є досить плодотворним краєм у якому вирощують велику кількість різних овочів та фруктів. Для збільшення терміну придатності даних продуктів їх обробляють різними способами. Один із способів є сушіння.

В наш час актуально використовувати сушіння овочів та фруктів, так як це дає змогу:

- зберегти корисні властивості продукції;
- збільшити термін придатності;
- зменшити площі та об'єми приміщень для зберігання продукції;
- зменшення ваги та об'єму продуктів для легшого транспортування, наприклад, у туристичних походах, для військових та інше;

Розробка нових технологій для збереження плодів та ягід необхідна для зниження витрат та отримання продуктів кращої якості і поживної цінності.

В багатьох технологічних процесах промисловості дуже широко використовується процес сушіння. Сушити можна різноманітні матеріали на різних стадіях їх переробки (сировина, напівфабрикати, готові вироби).

Мета сушіння, є покращення фізико-механічних властивостей матеріалу або надання нових, зниження ваги матеріалу, покращення транспортабельності матеріалу, тощо. Однією з найголовніших проблем створення є економія енергоресурсів, залучення в сферу їх виробництва нетрадиційних джерел, впровадження енергозберігаючих технологій.

Сушать сировину за допомогою природного тепла або штучного. Сушіння за умов природного тепла просте, дешеве, доступне, але залежить від погодних умов. На ніч сировину необхідно закривати або забирати в приміщення. Сушіння за допомогою природного тепла відбувається сонячне та тіньове. Сушіння за допомогою штучного тепла проводять у спеціальних сушарнях, де регулюється температура. Сушарню обладнують вентиляцією, тому процес висушування відбувається швидко, оскільки вологе повітря постійно замінюється на свіже сухе.

Існують сушарні тимчасової і безперервної дії. Вони можуть бути стаціонарні і переносні. Стаціонарними сушарнями оснащують спеціалізовані господарства, заготівельно-приймальні установи. Сушарні мають сушильну камеру та ізольоване джерело тепла. Сушарня періодичної дії складається з камери, обладнаної стелажми, вентиляцією та трубами, якими подається тепло. Температуру встановлюють відповідно до виду сировини та її хімічного складу. Через певний проміжок часу суху сировину вивантажують. Сушарня безперервної дії обладнана стрічкою, яка рухається. Завдяки цьому сировина під час сушіння перевертається і швидко висихає.

У дипломній роботі для проведення експериментів я використовував камерну конвективну сушарку яка знаходиться в лабораторії кафедри теплозапобігання, вентиляції та теплоенергетики Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» і була змонтована нашими попередниками з допомогою викладачів кафедри.



Загальний вид стенду: 1 – сушильна камера; 2 – повітряний нагнітач і тач; 3 – електричний калорифер; 4 – спиртовий термометр; 5 – частотний регулятор обертів; 6 – оглядове вікно.

Погодження	
------------	--

Зам. №	
--------	--

Підпис / Дата	
---------------	--

№ № оп.	
---------	--

						ДР.401-НТ.№19061ГЧ		
						Експериментальні дослідження процесів сушки сировини в лабораторних умовах		
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата	Склад	Архив	Архив
Розробив				Погорелий К.О.		Р	3	10
Перевірив				Гузик Д.В.				
Зав.кафед.				Голік Ю.С.				
Нисинський				Гузик Д.В.				
Загальні відомості						 Національний університет "Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка"		

# Склад стенду



Камера сушіння: 1 - лампа «холодного світла»; 2 - спиртовий термометр; 3 - решітка для сировини.



Решітка для сировини



Повітряний нагн і тач типу KV 160 M.



Електричний калорифер Aerostar SEH 50-25/22,5.



Частотний регулятор

						<b>ДР.401-НТ.№19061ГЧ</b>		
						<b>Експериментальні дослідження процесів сушки сировини в лабораторних умовах</b>		
<b>Зм.</b>	<b>Кільк.</b>	<b>Арх.</b>	<b>№ док.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		<b>Склад</b>	<b>Архив</b>
Розробив		Позорелій К.Ю.					P	10
Перевірив		Гузик Д.В.						
Зав.кафедр.		Галік Ю.С.						
<b>Начинатор</b>		Гузик Д.В.						

Склад стенду



Національний університет  
"Полтавська політехніка  
імені Юрія Кондратюка"

Погоджено:	
Зач. №:	
Підпис і дата:	
№ № оп:	

# Контрольно-вимірні та вимірні прилади



Смартфон CAT S60 з вбудованим тепловим зором.



Електронні ваги Portable Electronic Scale



Анемометр МЕТЕОН 11006



Спиртовий термометр.



Електронні ваги Elenberg KS 110

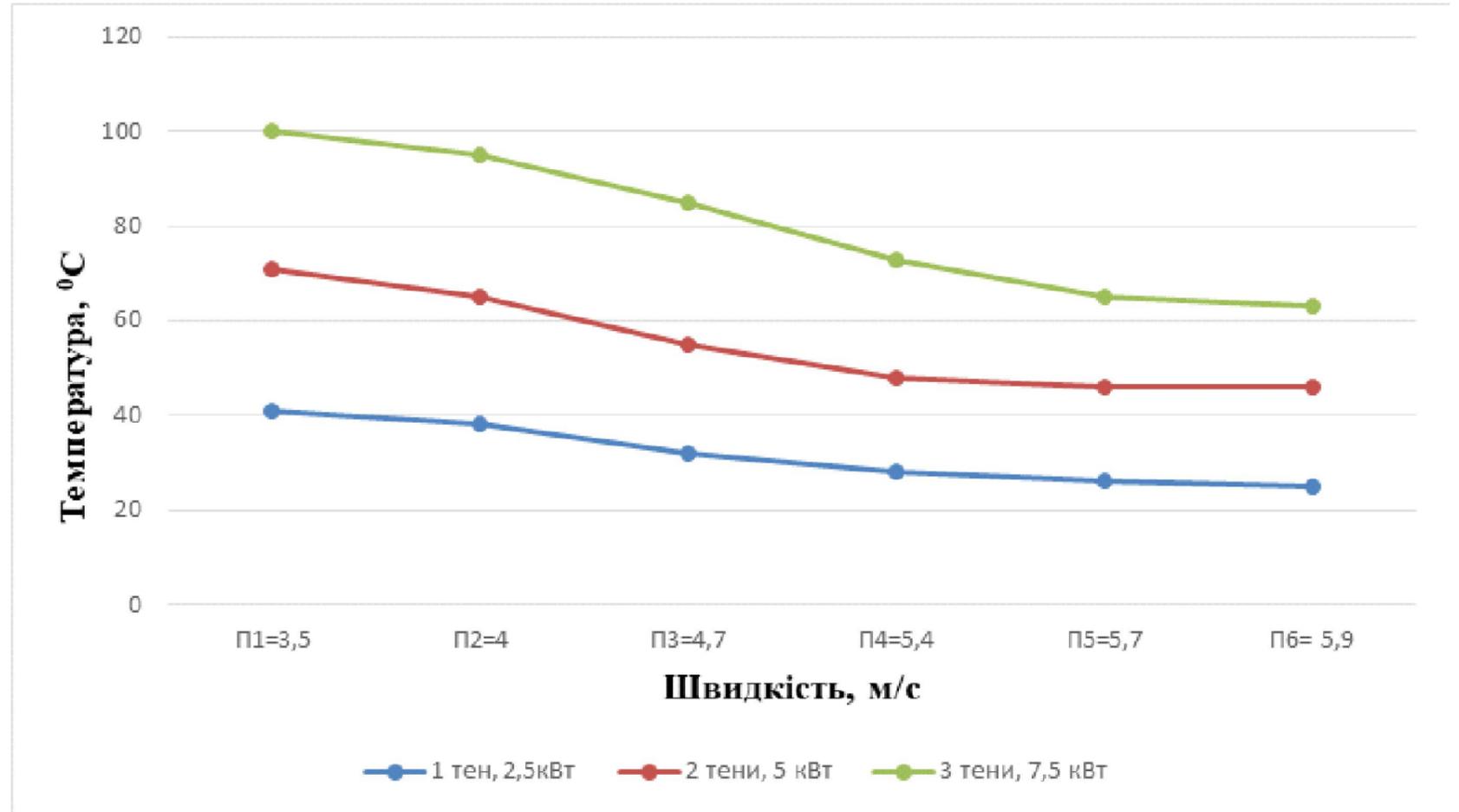
Зн.	Кільк.	Апр.	№ док.	Підпис	Дата	ДР.401-НТ.№19061ГЧ		
Розробив						Позорелий К.Ю.		
Перевірив						Гузик Д.В.		
Заб.кафед.						Голік Ю.С.		
Начальник						Гузик Д.В.		
Контрольно-вимірні прилади						Національний університет "Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка"		

Погоджено:	
Зач. № А. №	
Підпис і дата	
№ А. №	

# Перевірка лабораторного стенду на аеродинамічні та температурні показники



Зображення зон і інших зон



Температурний режим



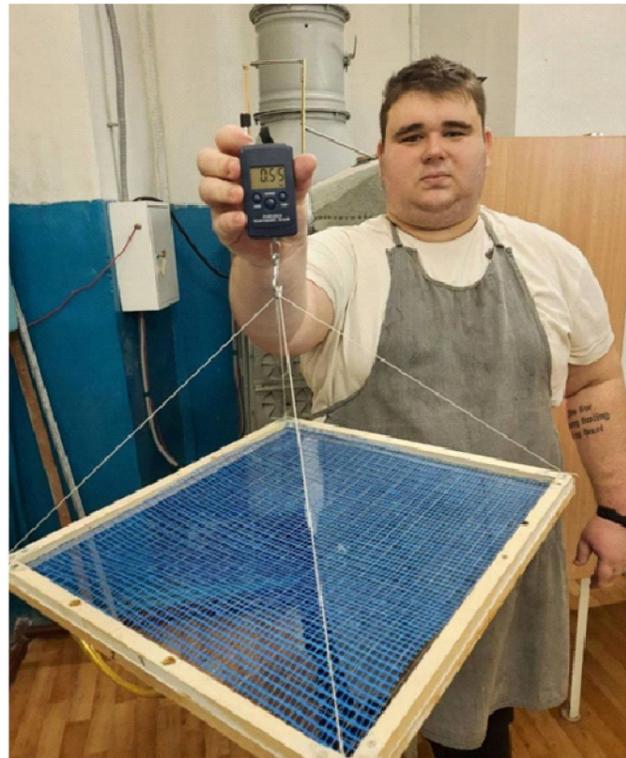
Знімок стенда за допомогою тепловізора



Зн.	Кільк.	Арх.	№ док.	Підпис	Дата	ДР.401-НТ.№19061ГЧ		
Розробив						Експериментальні дослідження процесів сушки сировини в лабораторних умовах		
						Склад	Архив	Архив
Перевірив						P	6	10
Зав.кафедр.						Перевірка лабораторного стенду на аеродинамічні та температурні показники		
Начальник						 Національний університет "Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка"		

Погоджено:	
Зн. №. №	
Підпис і дата	
№. №. №	

# Проведення дослідів



Зважування решітки для розміщення сировини



Підготовка сировини до сушіння(Дослід 1,2)



Викладення сировини на решітку



Сировина для проведення експериментів (мандарин)

						ДР.401-НТ.№19061ГЧ		
						Експериментальні дослідження процесів сушки сировини в лабораторних умовах		
<b>Зн.</b>	<b>Кільк.</b>	<b>Апр.</b>	<b>№ док.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>	<b>Склад</b>	<b>Автори</b>	<b>Архив</b>
Розробив		Позарелій К.Ю.				Р	7	10
Перевірив		Гузик Д.В.						
Зав.кафедр.		Голік Ю.С.						
<b>Начинатор</b>		Гузик Д.В.				<b>Проведення дослідів</b>  Національний університет "Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка"		

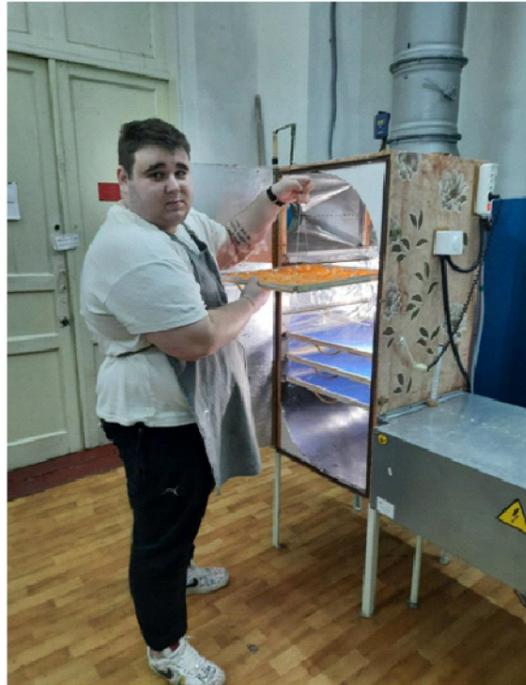
Погоджено:

Зач. № №

Підпис / Дата

№ № оп.

# Проведення дослідів



Розміщення решітки в сушарку



Зважування сировини стаціонарними вагами



Підготовка сировини до сушіння (Дослід 3)



Сировина в процесі сушіння



Сировина в кінці експерименту (Дослід 4)

						ДР.401-НТ.№19061ГЧ		
						Експериментальні дослідження процесів сушки сировини в лабораторних умовах		
Зм.	Кільк.	Апр.	№ док.	Підпис	Дата	Склад	Автори	Архив
Розробив			Позарелій К.Ю.			Р	В	Ю
Перевірив			Гузик Д.В.					
Зад. кафедр.			Голік Ю.С.					
Начини			Гузик Д.В.			Проведення дослідів		

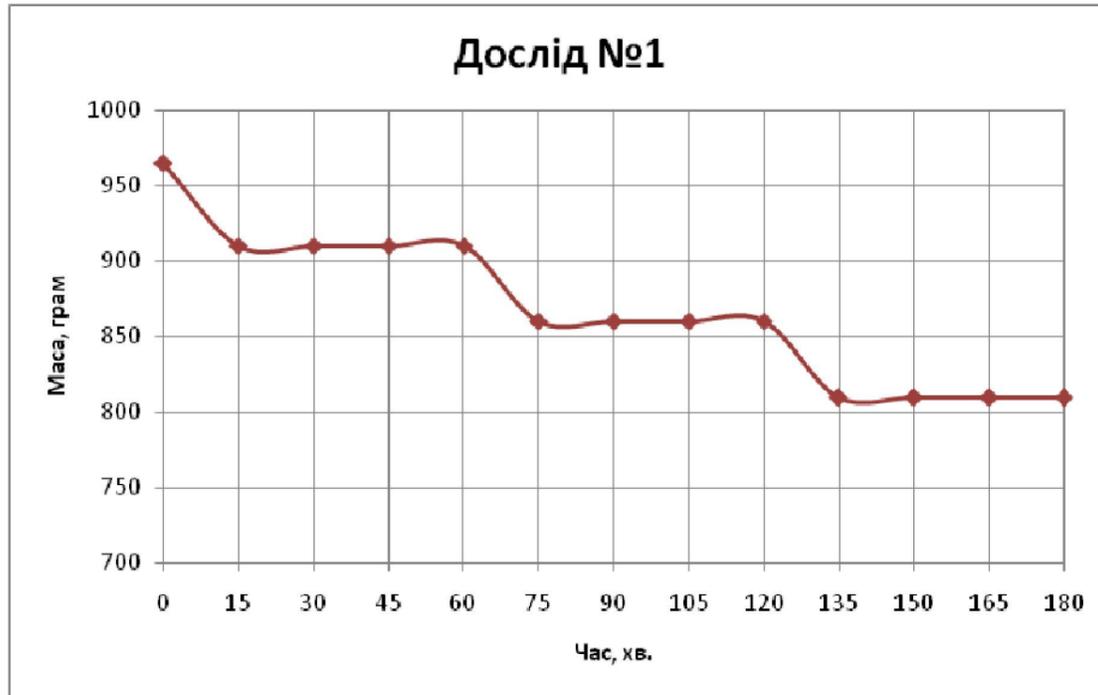


Національний університет "Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка"

Погоджено:	
Зам. НА. №	
Підпис і дата:	
№ № оп.	

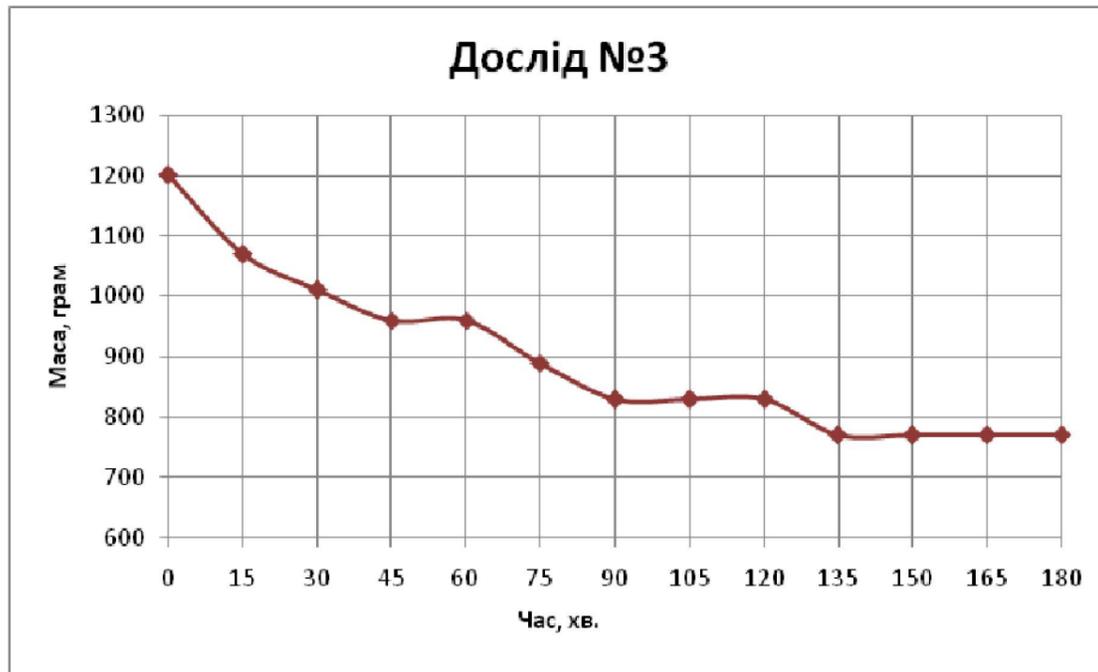
# Аналіз дослідів

## Дослід №1



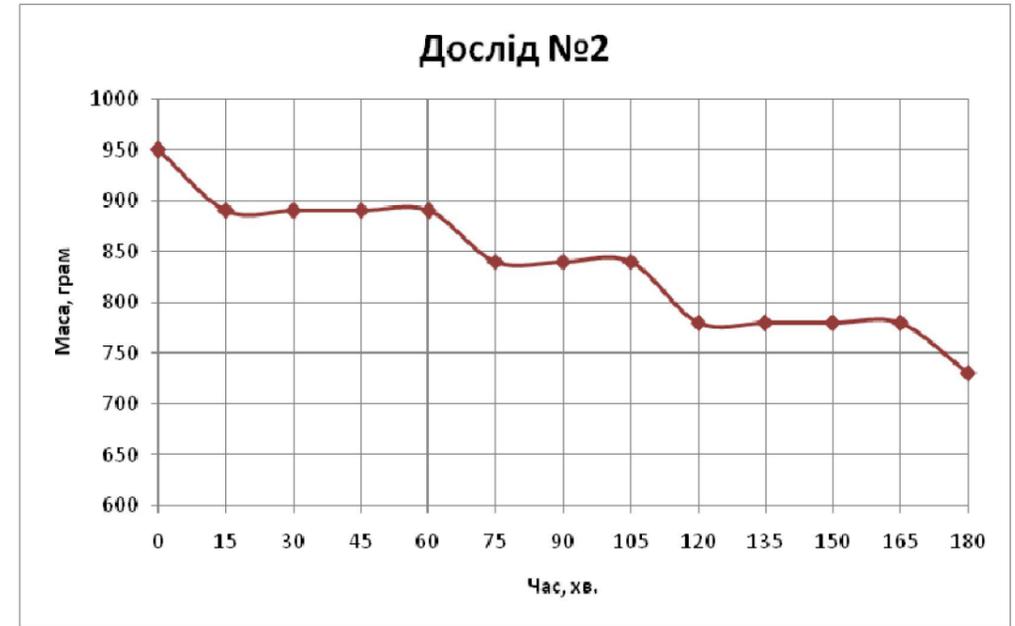
Втрата маси в час і (Дослід 1)

## Дослід №3



Втрата маси в час і (Дослід 3)

## Дослід №2



Втрата маси в час і (Дослід 2)

## Дослід №4



Втрата маси в час і (Дослід 4)

						ДР.401-НТ.№19061ГЧ		
						Експериментальні дослідження процесів сушки сировини в лабораторних умовах		
Зн.	Кільк.	Арх.	ІР Док.	Підпис	Дата	Склад	Архив	Архив
Розробив		Погорелий К.О.				Р	9	10
Перевірив		Гузик Д.В.						
Заб.карт.		Галік Ю.С.						
Начинитель		Гузик Д.В.				Аналіз дослідів  Національний університет "Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка"		

Погоджено:	
Зн. ІМ. ІР	
Підпис і дата	
ІМ. ІР ар.	

# Висновки по роботі

1. Попередні випробування лабораторного стенда дають підстави говорити про можливість використовувати його для проведення процесів сушіння овочів, фруктів, ягід, грибів та іншої рослинної сировини як в навчальному процесі, так і для проведення науково-дослідних робіт.
2. Аеродинамічні випробування розробленого стенда дають підстави говорити про доцільність організації руху агента сушіння чітко по вертикалі, тобто для запобігання утворення "застійних зон" підведення та відведення повітря бажано здійснювати відповідно в днище та з кришки камери.
3. Дослідження температурного режиму лабораторного стенду дають підстави говорити про можливість регулювання кількісно-якісних показників в досить великому діапазоні.
4. Порівняльний аналіз способів сушіння з точки зору термінів отримання якісного кінцевого продукту дає перевагу на користь штучного конвективного сушіння в порівнянні з природнім. Збільшення експлуатаційних витрат при цьому способі сушіння потребують проведення додаткових лабораторних досліджень.
5. Для отримання якісного кінцевого продукту бажано використовувати устаткування для сушіння сировини, яке дає можливість експлуатаційникам одночасно змінювати параметри агента сушіння, а саме як його температуру, так і кількість повітря.
6. Для того щоб досягти максимального результату економії енергоресурсів потрібно проводити заходи з термомодернізації сушильної установки, а саме теплоізоляція корпусу калориферу, та самої сушильної камери.
7. З проведених дослідів визначено найбільш доцільний варіант сушіння мандарина це є 3 дослід, тому що ми отримали якісну висушену сировину презентабельного вигляду за короткий проміжок часу та з мінімальними енергозатратами.



Готова висушена сировина (Дослід 3)

						ДР.401-НТ.№19061ГЧ		
						Експериментальні дослідження процесів сушки сировини в лабораторних умовах		
Зн.	Кільк.	Арс.	ІР Док.	Підпис	Дата	Смайл	Арсум	Арсум
Розробив		Погорелий К.Ю.				Р	10	10
Перевірив		Гузик Д.В.						
Зад.кафед.		Голік Ю.С.						
Начинител		Гузик Д.В.				<b>Висновки по роботі</b>		 Національний університет "Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка"

Погоджено

Зач. № №

Підпис / Дата

№ № оп.

