

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



## ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

на тему Розробка конструкції енергоефективної сушарки  
на базі термосифонів

(назва кваліфікаційної роботи згідно наказу ОНТУ)

Здобувача Пройда А. О.

(прізвище, ініціали)

Керівник доц. Безбах І. В.

(посада, прізвище та ініціали)

Консультанти: доц. Зиков О. В.

(посада, прізвище та ініціали)

**Кваліфікаційна робота допускається до захисту**

Рішення кафедри від \_\_\_\_\_ 2023 р., протокол № \_\_\_\_\_.

Завідувач кафедри ПО та ЕМ  
(назва кафедри)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Олег БУРДО  
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Одеса - 2023 рік

# ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет	<u>низькотемпературної техніки та інженерної механіки</u>
Кафедра	<u>ПО та ЕМ</u>
Ступінь вищої освіти	<u>бакалавр</u>
Спеціальність	<u>133 «Галузеве машинобудування»</u>
Освітня програма	<u>«Машинобудування»</u>

## ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри ПО та ЕМ

Олег БУРДО

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ р.

## ЗАВДАННЯ

### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Пройда Аліна Олександрівна

1. Тема роботи Розробка конструкції енергоефективної сушарки на базі термосифонів  
Затверджена наказом академії від 17.08.2022 р наказ № 463-03
2. Термін задачі здобувачем закінченої роботи \_\_\_\_\_
3. Вихідні дані роботи: продуктивність технологічної лінії, в якій встановлений апарат 1 кг/год, продукт – яблука у вигляді слайсів, вологість початкова 80%, кінцева 15%
4. Перелік питань, які потрібно розробити: технологічний процес, вимоги до сировини, тари, готової продукції у відповідності до ДСТУ; способи реалізації технологічного процесу та машинно-апаратне оформлення; критичний огляд існуючого технологічного обладнання; обґрунтування розробки обраної конструкції; технічний проект; енергетичний аналіз лінії виробництва; техніка безпеки і правила експлуатації машини
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Сушарка на базі термосифонів (Лист 1), Камера сушіння (Лист 2), Теплогенератор (Лист 3), Модуль тепловий (Лист 4), Деталювання (Лист 5), Експериментальна частина (Лист 6) \_\_\_\_\_

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

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

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

Керівник \_\_\_\_\_ Безбах І. В.

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_ Пройда А. О.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Технологічний процес, вимоги до сировини, тари, готової продукції у відповідності до ДСТУ		
2.	Способи реалізації технологічного процесу та машинно-апаратне оформлення		
3.	Критичний огляд існуючого технологічного обладнання		
4.	Обґрунтування розробки обраної конструкції		
5.	Технічний проект		
6.	Енергетичний аналіз технологічної лінії		
7.	Техніка безпеки і правила експлуатації машини		

Здобувач – дипломник \_\_\_\_\_ Пройда А. О.

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Безбах І. В.

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

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

Здобувач-дипломник \_\_\_\_\_ Пройда А. О.

## Зміст

Реферат .....	5
Вступ.....	6
1. Критичний огляд існуючого технологічного обладнання .....	7
1.1 Способи сушіння, класифікація, характеристики.....	14
1.2 Порівняння способів сушіння за енергетичними характеристиками .....	16
1.3 Сушарки з використанням рекуператорів та сонячної енергії.....	20
1.3.1 Класифікація сонячних сушарок .....	20
1.3.2 Сушарки з фотоелектричними панелями .....	23
1.3.3 Гібридні фотоелектричні панелі та сонячні колектори .....	24
1.3.4 Використання сонячних колекторів і матеріалів для зберігання енергії.....	24
2. Обґрунтування розробки обраної конструкції.....	30
3. Технічне завдання на проектування.....	31
4. Технічний проект .....	36
4.1. Принцип дії теплової труби .....	36
4.2 Опис запропонованої машини, принцип дії, устрій .....	38
5 Експериментальна частина .....	43
6 Технологічний розрахунок.....	46
7 Енергетичний аналіз лінії сушіння.....	50
8. Техніка безпеки і правила експлуатації машини .....	56
Використані літературні джерела.....	59
Специфікації .....	60

					<b>КРБ.ПОтаЕМ.1. 463-03.1.3</b>			
<b>Змін</b>	<b>Ар-</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>	Розробка конструкції енергоефективної сушарки на базі термосифонів	<b>Літ.</b>	<b>Арк</b>	<b>Аркушів</b>
Розроб		Пройда А. О.					4	60
Перевірів		Безбах І. В.						
Н. Контр.								
Затв.		Бурдо О. Г.						
						ОНТУ		

## Реферат

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

Розрахунково-пояснювальна записка включає 60 стор.

Графічна частина включає - 6 листів А1

## Вступ

Розвиток підприємств безпосередньо пов'язаний з досягненнями в галузі створення нових технологій і обладнання.

До всіх апаратів і машин висувають такі вимоги: апарат чи машина повинен бути високопродуктивним, надійним, мало енергоємним і металомістким, задовольняти вимогам безпеки роботи і бути зручним в обслуговуванні. Неодмінними умовами тривалої і безперебійної роботи обладнання є його механічна надійність і конструктивна досконалість. Механічну надійність характеризують: міцність, жорсткість, стійкість, довговічність, герметичність. Міцність тісно пов'язана з довговічністю і безпекою конструкції.

Відповідальними етапами технологічного процесу переробки рослинної сировини є сушіння. Високі енерговитрати викликають необхідність пошуку нових ефективних способів та обладнання.

Проблема підвищення якості готового продукту, енергоємності, екології виробництва є актуальною для виробників продуктів харчування.

## 1. Критичний огляд існуючого технологічного обладнання

Під час сушіння харчові продукти піддаються термічному впливу, у результаті якого відбуваються фізичні та біохімічні перетворення, що можуть впливати на властивості продукту: структуру, колір, хімічний склад, харчову цінність тощо. Як результат термічного впливу є отримання сухих продуктів, що відповідають попередньо встановленим заданим вимогам.

На сьогодні існує значна кількість способів і методів сушіння вихідної сировини та харчових продуктів. Найбільш відомі способи сушіння – це конвективний, кондуктивний, інфрачервоний, мікрохвильовий, сублімаційний, акустичний та інші, а також їхні різні комбінації.

Класифікацію сучасних способів сушіння за різними ознаками [1] наведено на рисунку 1.

Конвективний спосіб сушіння полягає у переносі теплоти у середовищі з неоднорідним розподіленням температури. При цьому способі сушіння передача тепла продукту, що висушується, здійснюється за рахунок енергії нагрітого сушильного агента – повітря чи парогазової суміші. Сушіння продуктів відбувається шляхом омивання продукту нагрітим газом, повітрям, перегрітою парою та іншими теплоносіями, що мають температуру, яка відрізняється температури продукту, що висушується.

За рахунок теплової енергії, що надходить до продукту, відбувається випаровування вологи з продукту, а винос парів вологи здійснюється сушильним агентом. Перенос вологи всередині матеріалу здійснюється за рахунок неізотермічної масопровідності (вологодовідності, термовологодовідності) як у вигляді рідини, так й у вигляді пари.

Конвективне сушіння може відбуватися в шарі, коли використовуються сушарки з омиванням матеріалу – продукту сушильним агентом (тунельні, камерні, петльові, валкові, турбінні, стрічкові, шахтні сушарки).

## КЛАСИФІКАЦІЯ СПОСОБІВ СУШІННЯ ТА

*По способу підведення теплоти до вологої сировини:*

- конвективні
- кондуктивні
- терморадіаційні
- високочастотні
- комбіновані

*По тиску повітря в сушильній камері:*

- **атмосферні**
- **вакуумні**
- **сублімаційні**

*По конструктивних ознаках*

- **тунельні**
- **камерні**
- **шахтні**
- **коридорні**
- **барабанні**
- **вальцьові**

**По характеру роботи:**

- апарати періодичної дії
- апарати безперервної дії

*По виду сушильного агента:*

- апарати, що використовують нагріте повітря
- апарати, що використовують суміш повітря із продуктами горіння природного газу
- апарати, що використовують перегрітий газ

*По циркуляції сушильного агента:*

- установки із природною циркуляцією сушильного агента
- установки із примусовою циркуляцією сушильного агента за допомогою відцентрових і осьових вентиляторів

*По характеру руху сушильного агента щодо матеріалу:*

- прямоточні (при однаковому напрямку сушильного агента й матеріалу)
- противоточні (при протилежному русі сушильного агента й матеріалу)
- з пронизуванням шару матеріалу потоком сушильного агента

*По способу нагрівання сушильного агента:*

- сушильні установки з паровими калориферами
- сушильні установки з вогневими калориферами
- сушильні установки з електронагрівачами

**По виду об'єкта сушіння:**

- тверді матеріали
- рідкі матеріали
- пастоподібні матеріали
- крупні матеріали
- дрібні матеріали

*По кратності використання сушильного агента:*

- з однократним використанням сушильного агента
- з багаторазовим використанням сушильного агента

Рис. 1. Класифікація способів сушіння

Також відоме конвективне сушіння з сопловим обдуванням плоских матеріалів, у зваженому чи напівзваженому стані, яке здійснюється у сушар-

ках барабанного типу, установках з киплячим шаром, у пневматичних турбо-сушарках, у вихровому потоці та шляхом розпилення [2].

Однак конвективний спосіб сушіння має суттєві недоліки, які полягають у нераціональному використанні енергії сушарок, оскільки відбуваються втрати тепла на нагрівання обладнання та навколишнього середовища.

Зокрема, проведенням аналізом роботи конвективних сушарок виявлено високі енерговитрати, які складають від 5 МДж/кг до 8 МДж/кг, та викид відпрацьованого теплоносія в атмосферу, тепломісткість якого всього лише на 10 % – 15 % менша, ніж гарячого повітря, що подається в сушильну камеру. Недоліком також є взаємно протилежний напрямок градієнтів температури й вологовмісту, що значно зменшує швидкість процесу. Коефіцієнт тепловіддачі від сушильного агента до поверхні матеріалу має незначну величину, що призводить до неефективного використання підведеної енергії.

З метою інтенсифікації конвективного способу сушіння необхідно підвищувати температуру теплоносія, що, у свою чергу, провокує перегрів продукту, особливо під час його досушування. Також при цьому способі сушіння випаровування вологи відбувається тільки з поверхні, що призводить до утворення плівки, яка ускладнює сушіння та знижує якість продукту. При цьому погіршується колір, смак та запах сушеного продукту, знижується його відновлюваність та не виключається збереження первинної мікрофлори. Висока температура та значна тривалість процесу сушіння спричиняє окислювальні процеси, спрямовані на втрату вітамінів і біологічно активних речовин, що також знижує якість продукту.

Кондуктивний спосіб сушіння полягає в передачі тепла продукту, що висушується, шляхом безпосереднього контакту з поверхнею сушильного обладнання, яка нагрівається. Тепло відкритій поверхні продукту, що висушується, передається тільки від гріючої поверхні устаткування з наступним відведенням його у навколишнє середовище. Кількість тепла, отримана від гріючої поверхні, витрачається на випаровування вологи, на втрати тепла проміневипусканням та конвекцією відкритої поверхні продукту у навколи-

шне середовище. Частка втрат тепла у загальних його витратах складає від 3 % до 5 %, що характеризує сушильне обладнання як ефективне [3].

Проведений аналіз роботи кондуктивних сушарок показав, що коефіцієнт тепловіддачі при кондуктивному способі значно вище, ніж при конвективному, і становить від 170 Вт/(м<sup>2</sup>·К) до 180 Вт/(м<sup>2</sup>·К). Гаряча поверхня найчастіше обігрівается водяною парою температурою вище 100 °С, тому контактуючі шари матеріалу можуть досягати цієї температури, у результаті чого якість продукту погіршується. Як результат використання високої температури від 320 °С до 340 °С у сушильній камері продукт пересушується, що призводить до необоротності процесів відновлення. Висушений продукт втрачає від 30 % до 40 % вітамінів та біологічно активних речовин і стає досить ламким. Також сухий продукт, отриманий таким чином, є невисокої якості внаслідок його нерівномірної вологості.

Інфрачервоне сушіння засноване на тому, що інфрачервоне випромінювання певної довжини хвилі активно поглинається водою що міститься в продукті, але не поглинається тканиною продукту, що висушується. При поглинанні інфрачервоне випромінювання у ньому збільшується тепловий рух атомів і молекул, що викликає його нагрівання. Перенос енергії відбувається від тіла з більшим потенціалом до тіла з меншим потенціалом. Для харчових продуктів глибина проникнення інфрачервоних променів досягає від 6 мм до 12 мм. На таку глибину проходить незначна частина енергії випромінювання, але температура шару, що розташований на відстані від 6 мм до 7 мм від поверхні, збільшується набагато інтенсивніше, ніж при конвективному способі сушіння [4].

Перевага використання короткохвильових інфрачервоних променів для сушіння харчових продуктів формується за рахунок двох об'єктивних факторів: більш глибокого проникнення та більш ефективного впливу на молекулярну структуру. У зв'язку з цим видалення вологи з продукту можливо за невисокої температури від 40 °С до 60 °С, що дозволяє у значній мірі зберегти вітамінний склад, біологічно активні речовини продукту на рівні від 80 %

до 90 % від вихідної сировини та забезпечити високі органолептичні характеристики. Інфрачервоний спосіб сушіння харчових продуктів, як зазначено вище, характеризується двома перевагами: завдяки використанню досить низьких температур на рівні від 40 °С до 60 °С зберігаються якісні характеристики продукту – не рвуться клітини, не руйнуються вітаміни, не відбуваються реакції меланоїдиноутворення, а також не відбувається нагрівання сушильного обладнання і, відповідно, втрат тепла через його стінки та вентиляцію.

Мікрохвильовий метод сушіння ґрунтується на впливі на продукт інтенсивного електромагнітного поля надвисоких частот (НВЧ). Під впливом поля надвисоких частот молекули води (диполі) починають здійснювати коливальні та обертальні рухи, орієнтуючись з частотою поля за його електричними лініями. Рух молекул – це й є теплова енергія. Чим більше вологи міститься у певному об'ємі, тим більше молекул приймають участь у цьому русі, тим більше виділяється теплової енергії. Отже розігрів відбувається за всім об'ємом продукту, причому більш вологі ділянки отримують більше енергії. За рахунок цього відбувається видалення вологи, сушіння продукту та одночасне вирівнювання вологості за всім об'ємом. При зменшенні вологості процес сушіння не уповільнюється, оскільки механізм теплопровідності не відіграє значної ролі [5].

Проведений аналіз роботи НВЧ-сушарок показав, що використання даного виду сушильного обладнання забезпечує рівномірність об'ємного нагрівання, низькі енерговитрати – від 3,2 МДж/кг до 4,3 МДж/кг. Недолік таких сушарок – складність і дорожнеча устаткування, труднощі контролю за процесом, небезпека НВЧ-опромінення. Також обмеженням використання цього методу сушіння є відносно низький (до 60 %) коефіцієнт корисної дії перетворення енергії електричного струму в енергію НВЧ поля. Згідно з цим доцільно використовувати цей спосіб при вологості нижче, ніж 50 %, тобто у тому діапазоні вологості, де енергоємність цього способу нижча, ніж у конвективного способу сушіння. Однак під впливом інтенсивного поля НВЧ досяга-

ється мікробіологічна стабільність продукту [6].

Метод сублімаційного сушіння (сублімаційне вакуумне сушіння, ліофілізація, возгонка) – це видалення вологи зі свіжозаморожених продуктів під вакуумом. Процес сублімаційного сушіння продукту складається з двох етапів. Перший етап полягає в заморожуванні продукту за температури нижче його точки затвердіння. Другий етап – сублімування, видалення кристалів льоду або розчинника за досить низької температури, тобто безпосередньо сушіння продукту. При цьому значний вплив на якість сушеного продукту та час, потрібний на сушіння, має етап заморожування. Чим швидше та глибше відбувається процес заморожування продукту, тим менші кристали льоду утворюються в продукті, тим швидше вони випаровуються на другому етапі сушіння продукту і, відповідно, тим вища якість готового продукту. Висока якість сублімаційно висушеного продукту також характеризується високим ступенем збереження складових нутрієнтного складу вихідної сировини завдяки видаленню основної маси вологи з продукту сушіння за від’ємних температур (від мінус 20 °С до мінус 30 °С), а досушування його здійснюється також за м’яким температурним режимом (не вище 40 °С) [7].

До недоліків роботи сублімаційних сушарок та даного способу взагалі відносять більшу енергоємність і тривалість процесу, необхідні на витрати теплоти при фазових переходах, а також ушкодження клітинних мембран, що призводить до зниження відновлювальності продукту. По енергоємності сублімаційне сушіння перевищує сушіння при атмосферному тиску.

До переваг сублімаційно-вакуумного сушіння належить отримання кінцевого продукту з достатньо низькою вологістю від 2 % до 5 %. Така кінцева вологість продукту дає змогу для його зберігання протягом тривалого проміжку часу в умовах нерегульованого температурного режиму. Також позитивним є незначна усадка вихідної сировини, що дає можливість запобігти її руйнуванню та швидко відновити сублімовані продукти, для яких є характерною пориста структура.

Акустичний метод сушіння продуктів базується на впливі на предмет

сушіння звука з певними характеристиками, а саме інтенсивних ультразвукових хвиль. Цей процес є циклічним. Акустична хвиля вибиває вологу, що міститься на поверхні продукту, решта вологи рівномірно розподіляється по капілярах, і процес повторюється знову до тих пір, доки продукт не досягне заданої вологості. Даний спосіб сушіння характеризується тим, що процес здійснюється без підвищення температури продукту, тобто відбувається так зване «холодне» сушіння. Такий спосіб зневоднення є перспективним для термолабільних продуктів і таких, що швидко окислюються. Крім того, він характеризується підвищеною швидкістю отримання зневодненого продукту. Зокрема, під час сушіння ферментних препаратів, що руйнуються за температури 40 °С, в акустичному полі швидкість процесу збільшується у 3 – 4 рази у порівнянні з вакуумним методом.

Відомий спосіб сушіння, при якому використовують змішане теплопідведення, так зване ЗТП-сушіння (ЗТП). Особливістю даного способу є перевищення швидкості випаровування вологи в об'єкті сушіння над швидкістю відводу її через масообмінну поверхню, що сприяє підвищенню економічних показників технологічного процесу, а також формуванню пористої структури готового продукту, здатного до швидкого відновлення [8]. За результатами аналізу роботи радіаційних сушарок встановлено, що такі сушарки забезпечують високий коефіцієнт теплообміну, зниження обсіменіння продукту мікроорганізмами. Недоліками є складність забезпечення рівномірності нагрівання поверхні продукту, низьке питоме навантаження. Енерговитрати на видалення вологи складають від 3,2 МДж /кг до 5,4 МДж/кг.

Одним із способів стабілізації якості сировини, яка характеризується значним вмістом жирних кислот, зокрема різні види насіння, є сушіння в осцилюючих режимах, яке передбачає чергування нагрівання і охолодження, що дозволяє в значній мірі забезпечити збереженість готового продукту протягом тривалого зберігання [9].

Недостатній розвиток загальної теорії для описування процесів тепло- і масообміну, відсутність експериментальної інформації щодо сушіння в осци-

люючих режимах – усі ці фактори суттєво затримують впровадження у виробництво такого методу сушіння та проектування нових сучасних сушильних установок [10].

### **1.1 Способи сушіння, класифікація, характеристики**

Наразі відомо про наявність комбінованих методів сушіння, до яких відносять кондуктивно-конвективне, діелектрично-радіаційне, радіаційно-конвективне сушіння, конвективне вакуум-імпульсне та інші. Класифікацію способів наведено на рисунку 2.

Кондуктивно-конвективний метод сушіння передбачає отримання тепла від нагрітої поверхні та нагрітого газу. При цьому відбувається циклічність процесу, в основі якої лежить сушіння на нагрітій поверхні та циркуляція повітря між цими поверхнями.

Діелектрично-радіаційне сушіння передбачає отримання енергії за рахунок використання генераторів високої частоти. Переваги цього методу ґрунтуються на однаковому спрямуванні градієнтів температури та вологовмісту, що може сприяти підвищенню економічних показників при його використанні.

При радіаційно-конвективному методі сушіння в якості джерела енергії використовують випромінювачі, що забезпечують циклічний вплив на продукт, та повітря. Періодичність опромінення продукту позитивно відбивається на його якісних характеристиках завдяки запобіганню перегріванню.

При конвективному вакуум-імпульсному сушінні процес відбувається у два етапи: перший – конвективне сушіння у зваженому шарі, другий – вакуум-імпульсне сушіння. Це дозволяє на першому етапі видалити поверхневу вологу, запобігти злипанню рослинної сировини, зменшити енерговитрати. На наступному етапі інтенсифікується зовнішній та внутрішній тепло- і масообмін, зменшується тривалість процесу та виключається перегрівання продукту не тільки в першому періоді сушіння, але й після видалення вільної вологи. За імпульсної зміни тиску у сушильній камері до 2 кПа у попере-

дньо нагрітій сировині інтенсифікується не лише видалення вологи, але й газів – кисню з пустот і капілярів, руйнування частини міжклітинних мембран, що сприяє пригніченню окислювально-відновлювальних реакцій [11].

При рекуперативному сушінні джерелом теплоти є нагріта поверхня випарювально-конденсаційного модуля. Повітря з навколишнього середовища продувається крізь щільний шар (потік) дисперсного продукту. Поверхня може бути статичною або такою, що обертається. Повітря є тільки вологоносієм.

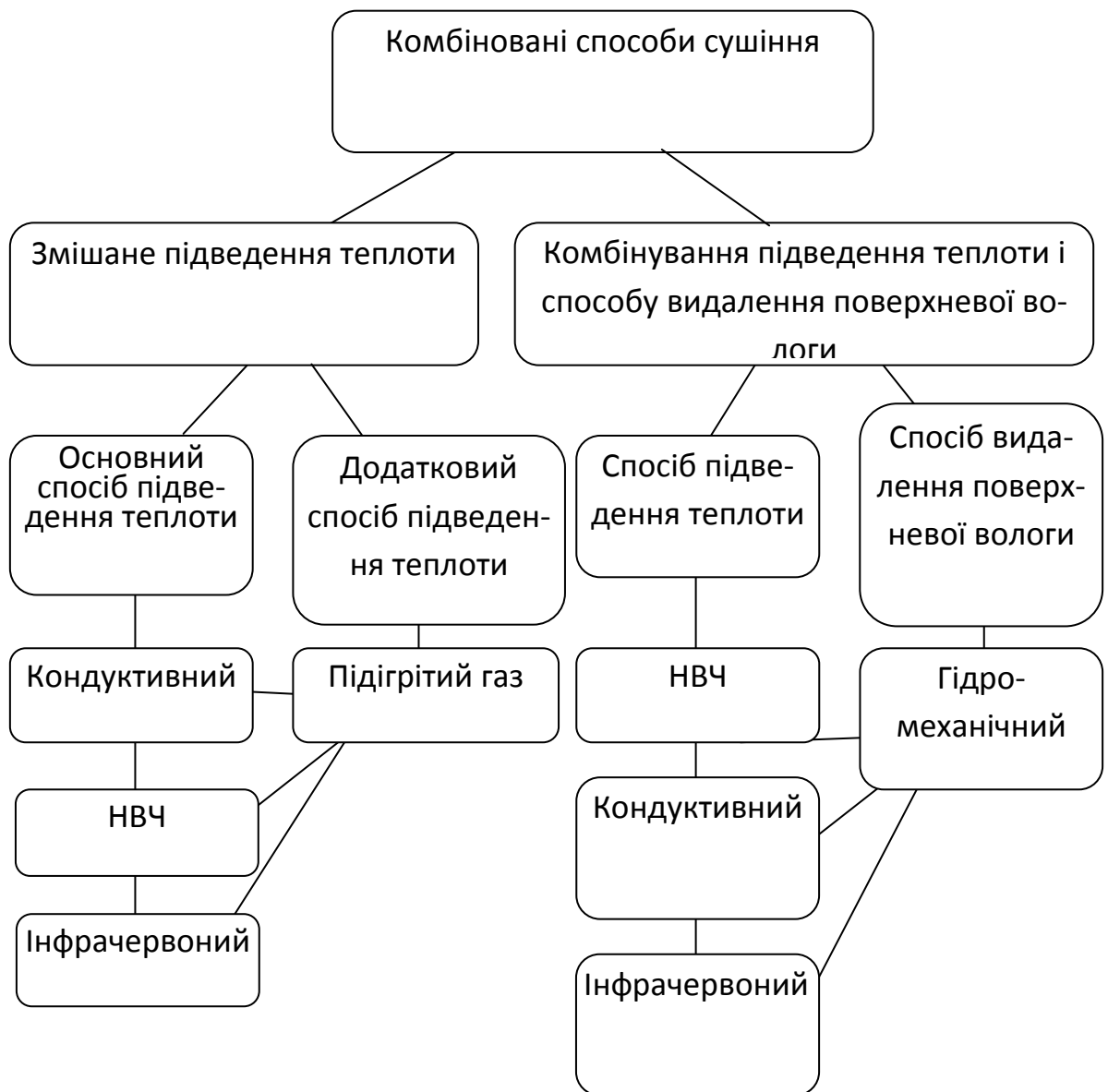


Рис. 2. Класифікація комбінованих способів сушіння

При фільтраційному сушінні здійснюється механічне витиснення поверхневої вологи тепловим агентом.

При фільтраційному сушінні, комбінованому з НВЧ, нагрівання продукту забезпечується генераторами високої частоти. Матеріал піддається переривчастому опроміненню і продуванню навколишнім повітрям, що дає можливість доцільного використання такого явища, як термовологопровідність [12]. Однак такі способи сушіння знаходяться у стадії розвитку і досліджені мало.

## 1.2 Порівняння способів сушіння за енергетичними характеристиками

Порівняльна характеристика найбільш поширених способів сушіння за основними показниками наведена на рисунку 3.

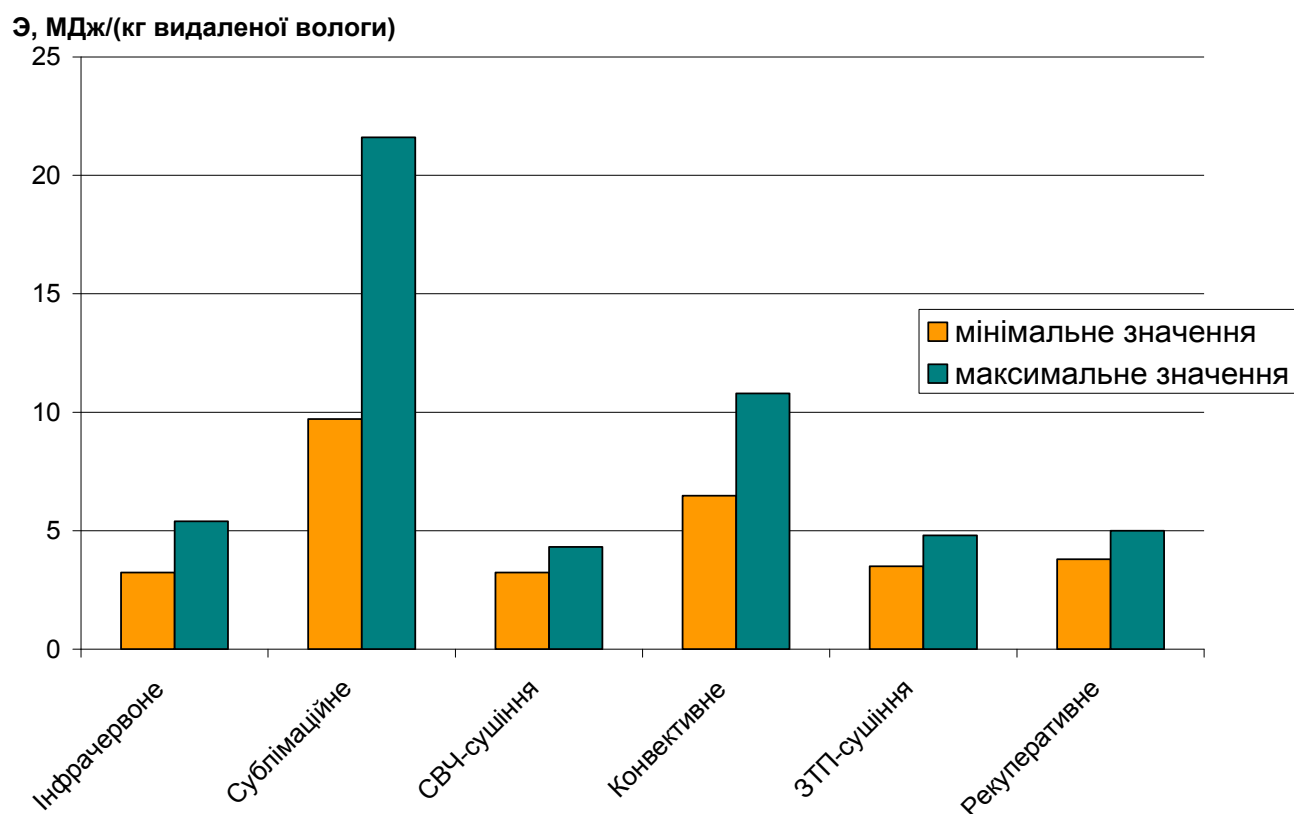


Рис. 3. Порівняльна характеристика найбільш поширених способів сушіння

Як видно з рисунку 3, найбільш перспективним для подальшого удосконалення з метою досягнення оптимального балансу між показниками енергоефективності та отриманням харчового продукту із заданими якісними ха-

раактеристиками є інфрачервоний, НВЧ, ЗТП, рекуперативний способи сушіння або їхні комбінації.

Для сушіння тонких шарів дуже ефективно використання ІЧ-нагрівання. У цьому випадку інтенсифікація сушіння збільшується в 1,5 – 2,0 рази при зниженні енерговитрат у 1,5 рази [14].

У найбільшій мірі переваги ІЧ- і НВЧ-сушіння проявляються в діапазоні низьких вологостей. Для продуктів з високим вихідним рівнем вологості найчастіше представляється доцільним поєднувати технології конвективного й ІЧ- або НВЧ-сушіння у єдиний послідовний сушильний процес, у якому кожний із складових його фізичних механізмів «працює» при близьких до оптимальних параметрах взаємодії з об'єктом, висушується.

Запропонована конструкція сушильної установки, наведена на рисунку 4, складається з вентилятора, калорифера, камери сушіння, ІЧ або НВЧ випромінювача.



Рис. 4. Блок-схема комбінованої ІЧ (НВЧ) – конвективної сушарки

Вентилятор подає повітря з навколишнього середовища до калорифера. Повітря нагрівається і потрапляє до камери сушіння, де знаходиться продукт. Над поверхнею продукту знаходиться ІЧ (НВЧ) випромінювач за допомогою якого відбувається нагрів поверхні продукту. Інфрачервоні промені певної довжини проникають у продукт на відстань від 6 мм до 12 мм і поглинаються вологою, що перебуває в ньому.

У процесі інфрачервоного сушіння відбувається вплив на молекулярну структуру продуктів. Це забезпечує краще збереження вітамінів, кольору й смаку. До того ж, відбувається стерилізація продуктів. Підведення енергії до продукту в такій сушарці відбувається за допомогою двох джерел – конвективно, з нагрітим повітрям і за допомогою ІЧ випромінювання. Підведення енергії також може відбуватися періодично, за рахунок вмикання або вимикання випромінювача.

Сушарка забезпечує низькотемпературні режими сушіння за температури продукту від 50 °С до 60 °С. Завдяки використанню низьких температур не гріється сушильне устаткування, не втрачається тепло крізь вентиляцію, стінки. Інфрачервоні промені за такої температури згубно впливають на мікрофлору на поверхні продукту, що висушується, залишаючи сухий продукт фактично стерильним. Сушильне устаткування, в якому застосовуються інфрачервоні промені, багатофункціональне і дає можливість переробляти безліч рослинних і тваринних продуктів. Сушіння відбувається з високою швидкістю – від 30 хв до 200 хв. Крім того, комбінація ІЧ нагріву і конвективного нагріву дає можливість ступенево підводити енергію до продукту на різних стадіях процесу сушіння.

Надвисокочастотне випромінювання – це електромагнітні хвилі із частотою коливань, що варіюється від 300 МГц до 30 ГГц, тобто довжина хвилі змінюється від 1 мм до 1 м. Фізичні властивості НВЧ схожі із властивостями інших видів електромагнітного випромінювання. НВЧ випромінювання здатне більш глибоко проникати в продукт, ніж це може забезпечити теплове або ІЧ випромінювання. Крім того, мікрохвильове (НВЧ) випромінювання набагато ефективніше перетворює електромагнітну енергію в тепло, тобто ККД НВЧ генератора вище, ніж ІЧ або теплового. Таким чином, схема 2 повторює схему 1 тільки з НВЧ генератором замість ІЧ випромінювача. Принцип роботи сушарки аналогічний.

Сема комбінованої сушарки з кондуктивним енергопідведення та продуванням шару продукту повітрям з навколишнього середовища (спосіб 3)

представлена на рисунку 5.

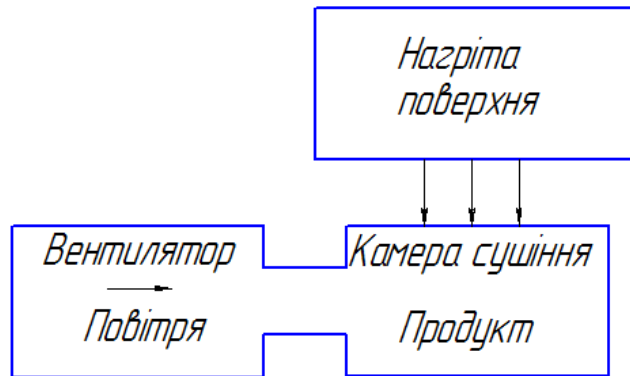


Рис. 5. Блок-схема комбінованої сушарки з кондуктивним енергопідведенням та продуванням шару продукту повітрям з навколишнього середовища

Запропонована конструкція сушильної установки складається з вентилятора, нагрітої поверхні, камери сушіння. Продукт нагрівається за рахунок контакту з нагрітою поверхнею. Вентилятор подає повітря з навколишнього середовища і продуває його крізь шар продукту. Повітря насичується вологою, що випаровується з продукту.

Переваги такої сушарки полягають у більших коефіцієнтах тепловіддачі до продукту та, як наслідок, менших енерговитратах.

## 1.3 Сушарки з використанням рекуператорів та сонячної енергії

### 1.3.1 Класифікація сонячних сушарок

За механізмом теплообміну сонячні сушарки поділяються на два основних типи: з природною та примусовою конвекцією (рис. 6).

Сонячні сушарки також класифікуються залежно від впливу сонячного випромінювання на чотири групи: непрямі, прямі, змішані та гібридні сонячні сушарки [26].

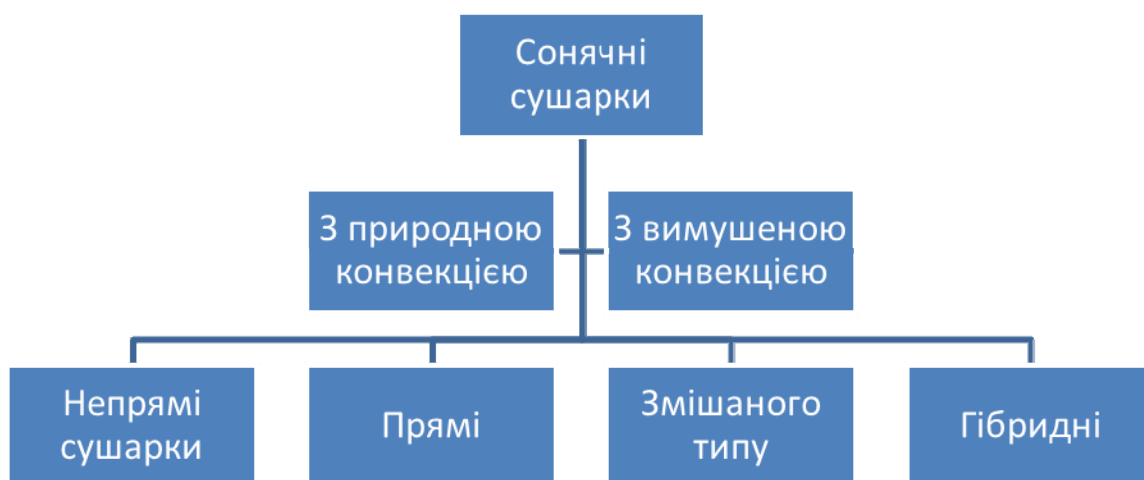


Рис. 6. Класифікація геліосушарок

1. Непрямі сонячні сушарки складаються з сушильної камери, поєднаної з сонячним колектором повітря для нагріву повітря перед тим, як воно потрапить на сушіння.

2. Прямі сонячні сушарки: виготовлені з теплиць, накритих прозорою кришкою, яка дозволяє прямому сонячному світлу проникати в сільськогосподарські продукти всередині теплиці.

3. Сонячні сушарки змішаного режиму: це комбінована модель сонячних сушарок прямої та непрямой дії. Вони складається з теплиці, покритої прозорою кришкою, яка пропускає пряме сонячне світло до продуктів, які висушуються, а також сонячного повітряного колектора, який використову-

ється як додаткове джерело обірву для нагрівання повітря перед входом у теплицю.

4. Гібридна сонячна сушарка: це система, яка містить більше одного джерела теплоти.

У режимі природної конвекції – потік повітря створюється виштовхуваними силами, а в режимі примусової конвекції – потік повітря вентилятором або нагнітачем.

Проведено дослідження, усі з яких спрямовані на покращення продуктивності різних сушарок для сільськогосподарських рослинної сировини, щоб скоротити час сушіння, зменшити забруднення рослинної сировини, які висушуються, підвищити ефективність сушіння, зменшити необхідний простір для сушіння, розробити конструкції сонячних сушарок таким чином, щоб вони підходили для віддалених районів, як страждають від нестач електроенергії.

Використання електричної енергії в сонячних системах сушіння не може бути економічним та екологічним варіантом. Оскільки сушіння з вимушеною конвекцією є найкращим методом сушіння, інтеграція сонячних сушарок з фотоелектричними/термальними колекторами (ФЕК) є хорошим варіантом, який може виробляти електроенергію, необхідну для роботи сонячних сушильних установок, в той же час вони використовуються як попередні – нагрівальні агрегати для нагрівання повітря перед входом у сонячні сушарки та покращення їхньої продуктивності [27].

Процеси сушіння рослинної сировини потребують більшого часу, тому поєднання сонячних колекторів в з сушильними установками є перспективним рішенням, оскільки вони використовуються як блоки попереднього нагріву для підвищення температури повітря перед подачею його до сонячних сушильних установок, це допомагає скоротити час, необхідний для сушіння рослинної сировини [28]. Системи накопичення теплової енергії є одним з ефективних способів покращити продуктивність сонячних сушарок. Системи накопичення теплової енергії (НТЕ) для сонячних сушарок користуються ве-

ликою популярністю, оскільки система НТЕ накопичує частину сонячної теплової енергії в періоди високої інтенсивності сонячних променів повертається в періоди низької сонячної енергії та після заходу сонця, таким чином забезпечуючи продовження процес в сушіння. Матеріали для термосховища недорогі, їх легко зібрати у віддалених районах [29].

Блок рекуперації тепла (БРТ) представляє один з методів оптимізації, який використовується для покращення продуктивності сонячних осушувачів. При цьому блоки рекуперації тепла використовуються як блоки попереднього нагріву для нагріву повітря перед його надходженням у сушильну установку, щоб підвищити температуру повітря, а потім зменшити час, необхідний для сушіння рослинної сировини. Ці блоки є теплообмінниками, як працюють для відновлення відпрацьованого тепла від двигунів внутрішнього згоряння, конденсаторів для холодильних установок, теплових насосів печей на біомасі, використовують це тепло для нагріву повітря перед входом у сонячну сушарку [30]. Сонячні сушарки привертають багато уваги як ефективна альтернатива сушаркам, які працюють на викопному паливі. Оскільки постачання сонячної енергії припиняється протягом дня, сонячні сушарки страждають від зупинок сушіння, тому процеси сушіння потребують тривалого часу. Були проведені деякі дослідження з використанням сорбційних матеріалів для покращення продуктивності сонячних осушувачів. Так як використання сорбційних матеріалів дозволяє скоротити час, необхідний для сушіння рослинної сировини в геліосушарках. Силікагель є одним із найбільш часто використовуваних сорбційних матеріалів у сонячних сушарках. Зазвичай він встановлюється на вході в сонячні опалювальні прилади. Загалом було показано, що це скорочує час, необхідний для сушіння рослинної сировини у сонячних сушарках, на 15...30% [31].

### 1.3.2 Сушарки з фотоелектричними панелями

Деякі дослідники об'єднали фотоелектричні/теплові панелі з сушильними установками, щоб використовувати фотоелектричні/теплові панелі як блоки попереднього нагріву для підвищення температури повітря перед подачею його до сушильних установок, щоб збільшити швидкість сушіння, а також збільшити необхідну кількість електроенергії для роботи нагнітача повітря для сушильних установок, що працюють за методом примусової конвекції. Завдяки дослідженням, проведеним у цій галузі, було встановлено, що інтеграція фотоелектричних/теплових панелей із сушильними установками є ефективним варіантом для підвищення швидкості сушіння, а також виробництва чистої, екологічно чистої електроенергії для роботи сушарок, таким чином зменшуючи навантаження на електроенергію об'єкта та зменшення забруднення навколишнього середовища.

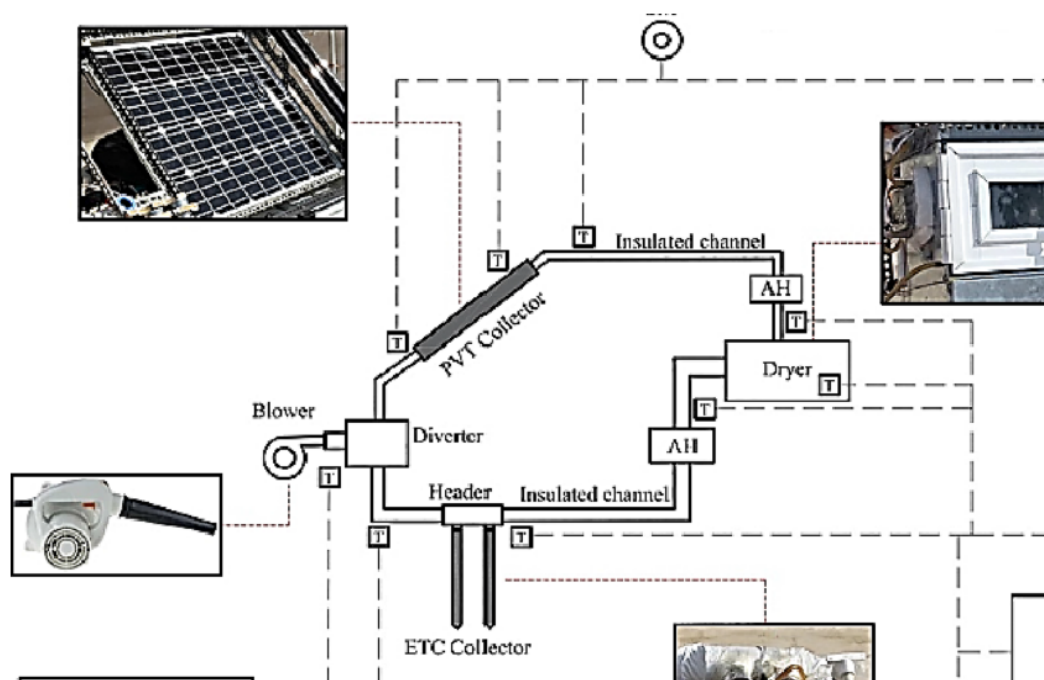


Рис. 7. Схема сушарки з ФТП, колектором з вакуумованою трубкою та допоміжним електричним нагрівачем

### 1.3.3 Гібридні фотоелектричні панелі та сонячні колектори

Автономна гібридна сонячна сушарка з сонячним колектором як блоком попереднього нагріву є хорошим вибором для досягнення найвищої швидкості сушіння для віддалених регіонів. Було проведено кілька досліджень, щоб оцінити продуктивність автономних сушильних установок з примусовою конвекцією для віддалених районів, які страждають від проблеми з електроенергією, де сонячні колектори поєднувалися з блоками сушіння та використовувалися як блоки попереднього нагріву для нагрівання повітря перед подачею його на сушіння. Результати досліджень показали, що об'єднання фотоелектричних панелей і сонячних колекторів із блоками сушіння є ефективним вибором, оскільки необхідний час висихання зменшено, а рівень споживання енергії зменшиться.

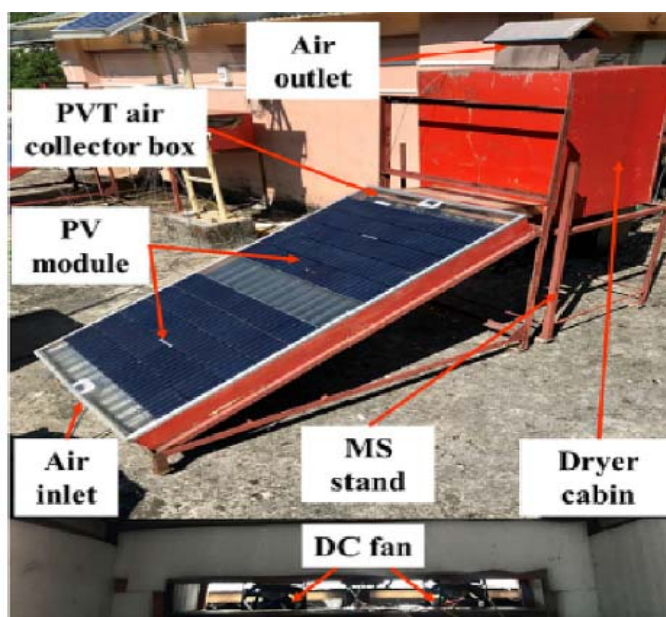


Рис. 8. Непряма сонячна сушарка з ФТП

### 1.3.4 Використання сонячних колекторів і матеріалів для зберігання енергії

Оскільки частина сонячної енергії зберігається в періоди пікового сонячного випромінювання, і ця накопичена енергія знову повертається до блоків сушіння в періоди низької інтенсивності сонячного випромінювання та

після заходу сонця. Було проведено кілька останніх досліджень, під час яких сонячні колектори та системи накопичення тепла поєднувалися з блоками сушіння, які спрямовані в першу чергу на підвищення продуктивності сушильних агрегатів у сонячний час, а також збільшення термінів роботи.

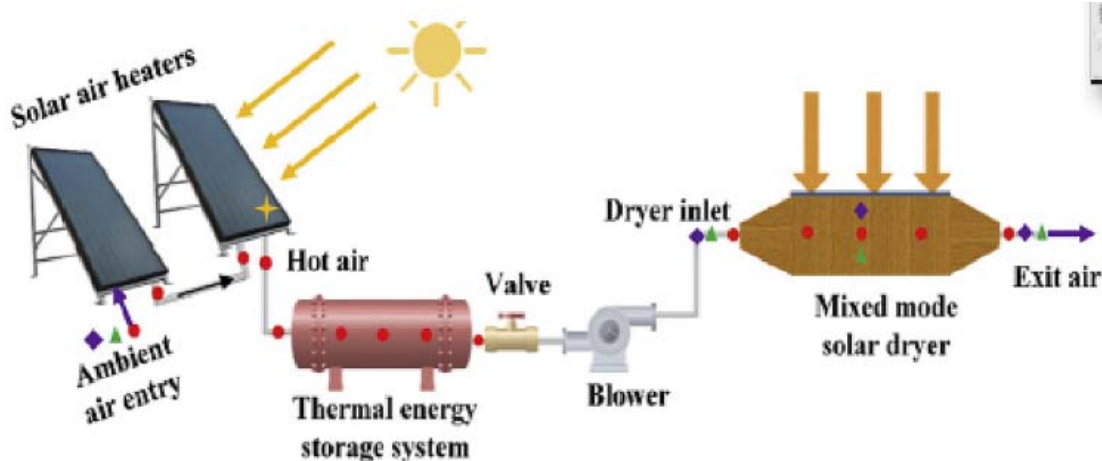


Рис. 9. Сонячна сушарка з сонячним нагрівачем повітря та системою накопичення теплової енергії

Було виявлено, що інтеграція сонячних колекторів і систем накопичення тепла з сушильними установками є ефективним вибором для зменшення кількості днів сушіння та зниження рівня споживання енергії.

Також відома конструкція з використанням вакуумних трубок (рис. 10). Як показано на рис. 10, дана експериментальна система складається з 1) колектора теплових труб, 2) бака гарячої води, 3) сушильної камери, 4) зовнішня сушильна камера, 5) два насоси; 6) повітродувка; 7) нагрівач теплообмінник; 8) ротаметр; 9) термопари; 10) клапан електроуправління.

Коли сонце нагріває поверхню колектора, рідина в теплових трубках випаровується та рухається у бік конденсатора, розташованого у верхній частині колектора. З іншого боку, робоча рідина системи перекачується та охолоджує конденсатор. Це контролюється двома датчиками температури, розташованими на виході колектора та нижньої частини бака. Рідина, що перекачується, конденсує робоче тіло теплових труб, поглинаючи теплоту його пари і одночасно підвищує власну температуру. Нагріта рідина надходить у мідний змійовик у баку та передає своє тепло воді.

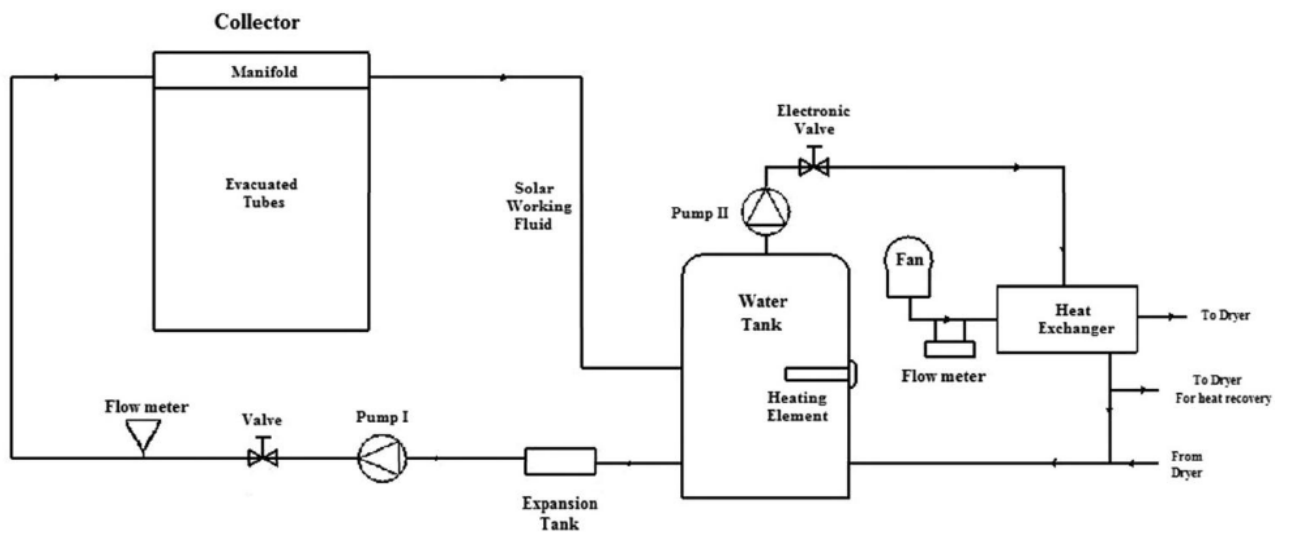


Рис. 10. Схема сушарки

Після зниження температури ця рідина спрямовується знову в конденсатор. Нагріта вода в баку подається насосом сушарки залежно від потреб системи. У сушарці вода надходить у теплообмінник і передає своє тепло повітрю, що продувається. Нагріте повітря надходить в основну сушильну камеру. Потім гаряча вода на виході з теплообмінника аналізується з погляду температури. Якщо температура води вище температури повітря сушарки, вона прямує в сушильну камеру для рекуперації тепла. Там воду заливають на дах та стіни сушарки та тепло передається повітря в сушарці. Отже, максимум теплової енергії води, що отримана за рахунок поглинання сонячної енергії, використовується при виконанні цього процесу рекуперації тепла.

Система зберігання сонячної енергії важлива для обміну та економії енергії. Система зберігання відповідає за сушіння багатьох сільськогосподарських продуктів, навіть коли пряме сонячне випромінювання відсутнє [26]. Таким чином, циліндричний накопичувальний бак з орієнтовною ємністю 130 л забезпечує систему. З метою підтримки максимальної теплової енергії та зведення до мінімуму втрат енергії, бак покритий 50-мм шаром утеплювача. Резервуар для зберігання має вхід холодної води в нижній частині та вихід гарячої. Допоміжний електронагрівач потужністю 2 кВт розміщено на 77 см над підлогою бака. Оскільки накопичувальний бак знаходиться під тиском, зверху встановлений запобіжний клапан, щоб забезпечити збереження

танка. Сушарка складається з двох камер завтовшки 2 мм. Для запобігання ерозії внутрішню камеру оцинковано, а зовнішню камеру пофарбовано. У внутрішній камері знаходяться продукти, а вироблений гаряче повітря подається в теплообмінник. Зовнішня камера трохи віддалена від внутрішньої камери.

Зовнішня камера. На рис. 11 показана зовнішня камера перед встановленням труби та фітинги.

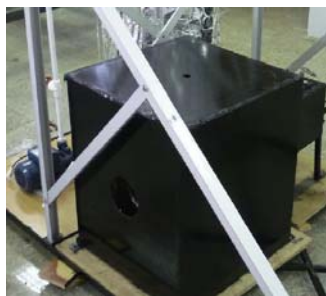


Рис. 11. Зовнішня камера

Для рекуперації тепла та у разі більш високої температури гарячої води, вода з колектора виливається у внутрішню камеру. Для цього передбачений вхід для води, встановлений на даху, а два виходи встановлені на підлозі.

Для забезпечення стоку води по стінах та верхній поверхні сушарки, краї поставляються для відведення води. Рис. 12а показана внутрішня камера, а на рис. 12б показані ребра, що проводять потік води по стінках до оцинкування сушарки.

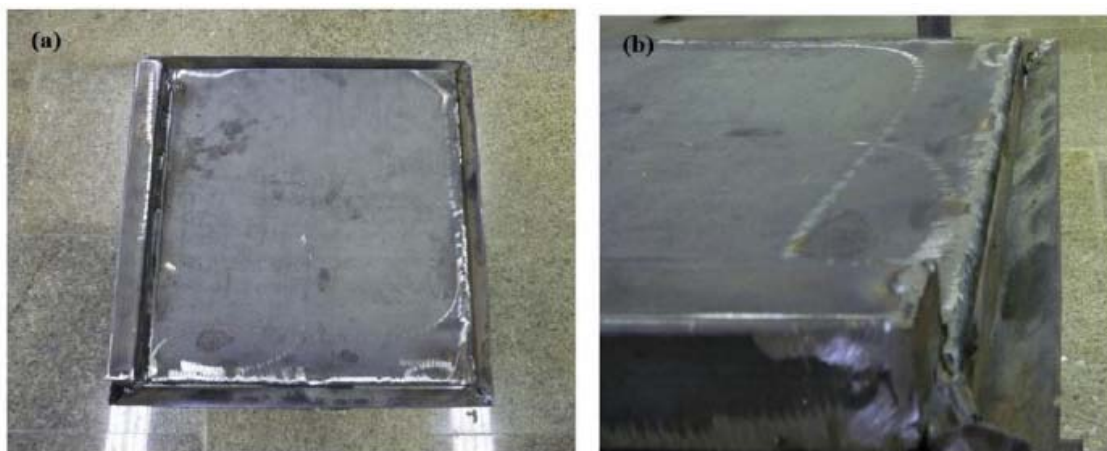


Рис. 12. Сушильна камера

Розміри зовнішньої камери 62 58 58 см, а внутрішньої камери 52 48

48 см.

Вимірювані фізичні параметри: температура на вході та виході рідини колектора, температура води всередині бака, температура води на виході теплообмінника осушувача, температура повітря всередині осушувача, температура води в лінії повернення в бак після нагріву відновлення, температура навколишнього середовища, сонячне випромінювання та масова витрата рідини сонячного циклу. Для виміру температури та сонячного випромінювання, термометри з точністю до 0,1 °С та радіометр ТЕС-1 333Р.

Індійськими дослідниками розроблено сушарку (рис. 13) гарячим повітрям із замкнутим контуром та пульсаційною тепловою трубою. Сушарка складається з нагрівача, вентилятора, камери сушіння та теплообмінника на теплових трубах. Повітря спочатку нагрівається в калорифері, проходить камеру сушіння, після чого потрапляє в теплообмінник рекуператор на теплових трубах. Таким чином підвищується тепловий потенціал повітря.

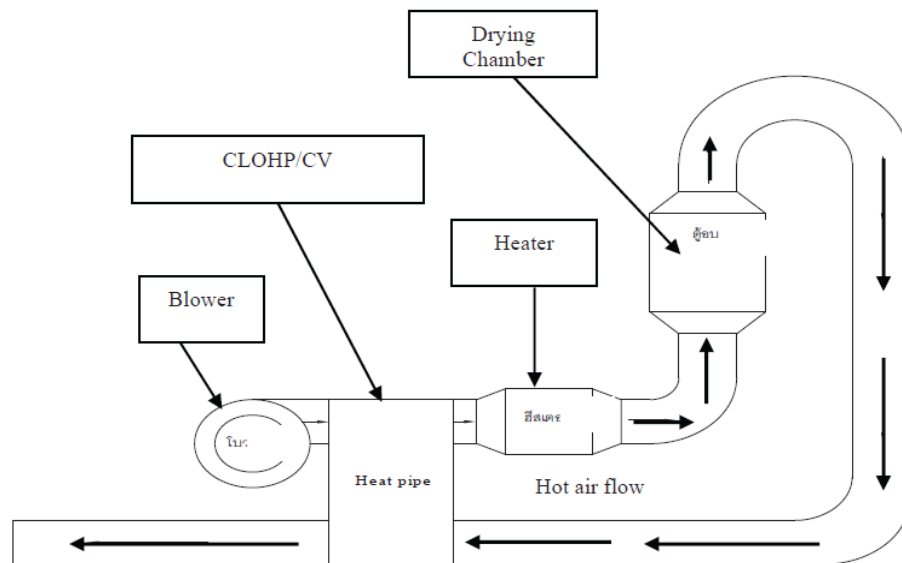


Рис. 13. Сушарка з пульсаційною тепловою трубою

Англійськими дослідниками розроблено систему (рис. 14), що складається теплових труб, випарники яких заведено до загального колектору всередині якого відбувається підігрів повітря, що йде до сушарки.

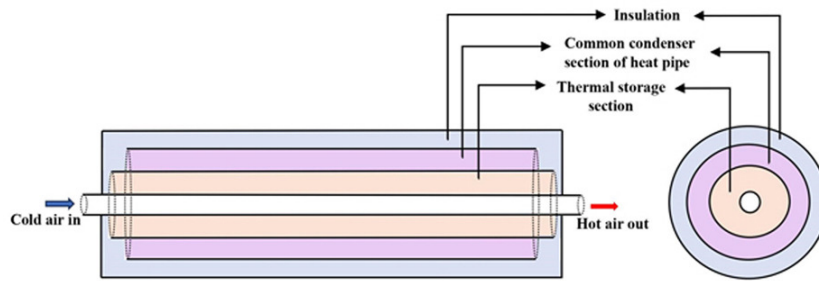
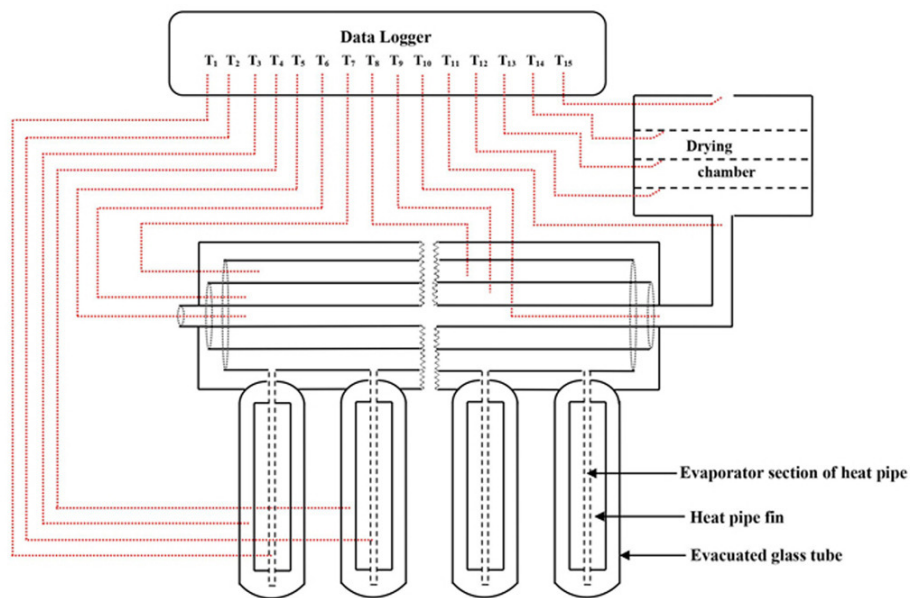


Рис. 14. Сушарка з колектором з теплових труб

## 2. Обґрунтування розробки обраної конструкції

Внаслідок зростання населення, світовий попит на енергію та якісну їжу продовжує зростати. Енергоспоживання та якість у процесах виробництва харчових продуктів є важливими параметрами, які необхідно ретельно вивчити та проаналізувати.

Сушіння складає до 25 % промислового споживання енергії у розвинутих країнах [3]. Свіжозбирані продукти зазвичай мають високу вологість, що унеможлиблює їх негайне зберігання.

Найбільш популярними сушарками є конвективні шахтні сушарки зі змішаним потоком. Конвективні сушарки зазвичай асоціюються з низьким тепловим ККД. У конвективних шахтних найчастіше використовують гази згоряння палива та безпосередньо направляють їх у продукт. Існує ризик потрапляння канцерогенів у продукт.

Дослідження, присвячені питанням сушіння, є актуальними. Щоб звести до мінімуму втрати продукту, отримати якісні продукти, знизити навантаження на навколишнє середовище, необхідні нові конструкції ефективних сушарок.

Пропонується конструкція сушарки, в якій на відміну від (рис. 14) у колектор буде заведено оребрені конденсатори, що значно підвищить ефективність роботи сушарки.

### 3. Технічне завдання на проектування

1. Найменування і область застосування:

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

2. Підстава для розробки:

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

3. Мета і призначення розробки:

1) розробка проводиться з метою:  
- створення енергоефективної установки для сушіння харчових продуктів;

4. Джерела розробки.

1) При розробці установки повинні бути використані наступні джерела:  
- патенти, каталоги, науково-технічна література;  
- авторські свідоцтва.

5. Технічні вимоги:

1) установка складається з наступних основних складальних одиниць:

1. Корпус
2. Камера сушіння
3. Підставка
4. Вентилятор
5. Термосифон
6. Рама

2) Габаритні розміри, не більше:

- довжина – 1100 мм;
- ширина - 600 мм;
- висота - 1300 мм.

3) Маса – 200 кг

4) установка повинна встановлюватися в лініях переробки харчових продуктів;

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

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

7) Вимоги до мийних засобів, мастил:

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

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

6. Показники призначення:

1) Продуктивність – 1 кг / год;

3) Теплова потужність до 1 кВт

7. Вимоги до надійності:

1) Гарантійний термін, міс - 12;

2) Коефіцієнт готовності - 0,95;

3) Коефіцієнт технічного використання - 0,9;

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

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

8. Вимоги до технологічності:

1) Спеціальні вимоги до технологічності не пред'являються.

9. Вимоги до рівня уніфікації та стандартизації:

1) коефіцієнт застосовності,% не менше - 35;

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

10. Вимоги до безпеки:

1) При розробці машина забезпечує виконання вимог до безпеки обслу-

говуючого персоналу згідно:

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

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

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

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

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

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

11. Естетичні і ергономічні вимоги.

1) Вимоги технічної естетики:

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

- забезпечити єдність стильового рішення елементів форми машини;

- форма машини в композиційному відношенні повинна відповідати умовам експлуатації;

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

- кількість кольорів для забарвлення машини не більше 3;

2) Ергономічні вимоги:

- допустимі зусилля, прикладені до робочих органів машини, а також

допускається вага об'ємних елементів машини по ГОСТ 27-00-216-75;

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

- передбачити надійний захист обертових частин машини.

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

13. Вимоги до складових частин продукції:

3) Основним матеріалом для виготовлення машини є вуглецева сталь звичайної якості ГОСТ 380-74 і нержавіюча сталь ГОСТ5632-72;

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

12. Умови експлуатації:

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

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

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

4) Обслуговування машини періодичне;

5) Обслуговуючий персонал - один робітник 2-го розряду;

6) Після транспортування і зберігання машина підлягає монтажу.

13. Вимоги до маркування та упаковки:

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

2) Консервація машини повинна проводитися відповідно до вимог ГОСТ 13168-69;

3) Машина призначена для встановлення на бетонну підлогу.

14. Вимоги до транспортування, зберігання:

1) Транспортування машини може здійснюватися будь-яким видом

транспорту у відповідності з їх правилами перевезень;

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

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

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

1) Розробка технічного завдання, його погодження та затвердження;

2) Розробка документації на дослідний зразок:

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

- виготовлення і заводські випробування дослідного зразка;

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

- міжвідомчі випробування дослідного зразка;

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

16. Порядок контролю і приймання:

1) Розробка проекту ведеться одностадійно;

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

## 4. Технічний проект

### 4.1. Принцип дії теплової труби

Теплова труба - це автономний пристрій, який служить для передачі тепла і працює за замкненим випарно-конденсаційним циклом (рис. 15).

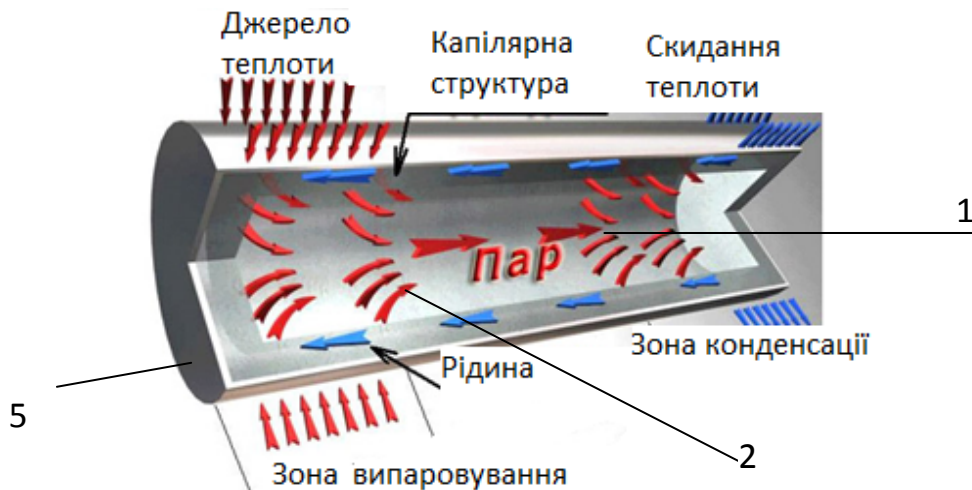


Рис. 15 . Схема теплової труби

Теплова труба (ТТ) являє собою порожнистий герметичний попередньо відвакуумований корпус 1, внутрішня поверхня якого має капілярну структуру 2 насичену рідиною 5. Тепловий потік ( $Q$ ), що підводиться від джерела тепла з температурою  $t_1$  до зони випаровування ТТ викликає випаровування рідини 1 з поверхні капілярної структури 2, зверненої в паровий канал 3. Парова фаза 4 під дією градієнта тиску переміщається по паровому каналу 3 транспортної зони в зону конденсації (конденсатор). При відведенні теплового потоку ( $-Q$ ) до стоку тепла з температурою  $t_0 < t_1$  пар конденсується на поверхні капілярної структури в зоні А і конденсат повертається в зону Б по капілярній структурі 2 зони Б під дією капілярних сил.

Тепловий режим ТТ визначають такі процеси:

1. Конвективний теплообмін між поверхнею конденсатора ТТ з температурою  $t_k$  та навколишнім середовищем з температурою  $t_0$
2. Теплопровідність через корпус ТТ від випарника з температурою  $t$  до конденсатора з температурою  $t_k$ ;

3. Теплообмін у випарнику при кипінні рідини;
4. Теплообмін у конденсаторі при конденсації пари;
5. Перенесення пари із зони випаровування в зону конденсації;
6. Перенесення рідини із зони конденсації в зону випаровування;
7. Теплообмін між поверхнею випарника ТТ з температурою  $t_i$  джерелом тепла з температурою  $t_1$ .

Теплопровідність теплових труб та термосифонів та пристроїв на їх основі на порядки перевищує теплопровідність металів, що дозволяє ефективно застосовувати їх для вирішення задач з теплопередачі та термоустаткування різних об'єктів.

## 4.2 Опис запропонованої машини, принцип дії, устрій

Розроблена сушарка складається з наступних основних складальних одиниць: камери сушіння 1, теплогенератора 2, вентилятора 3, рами 4. (рис. 16).

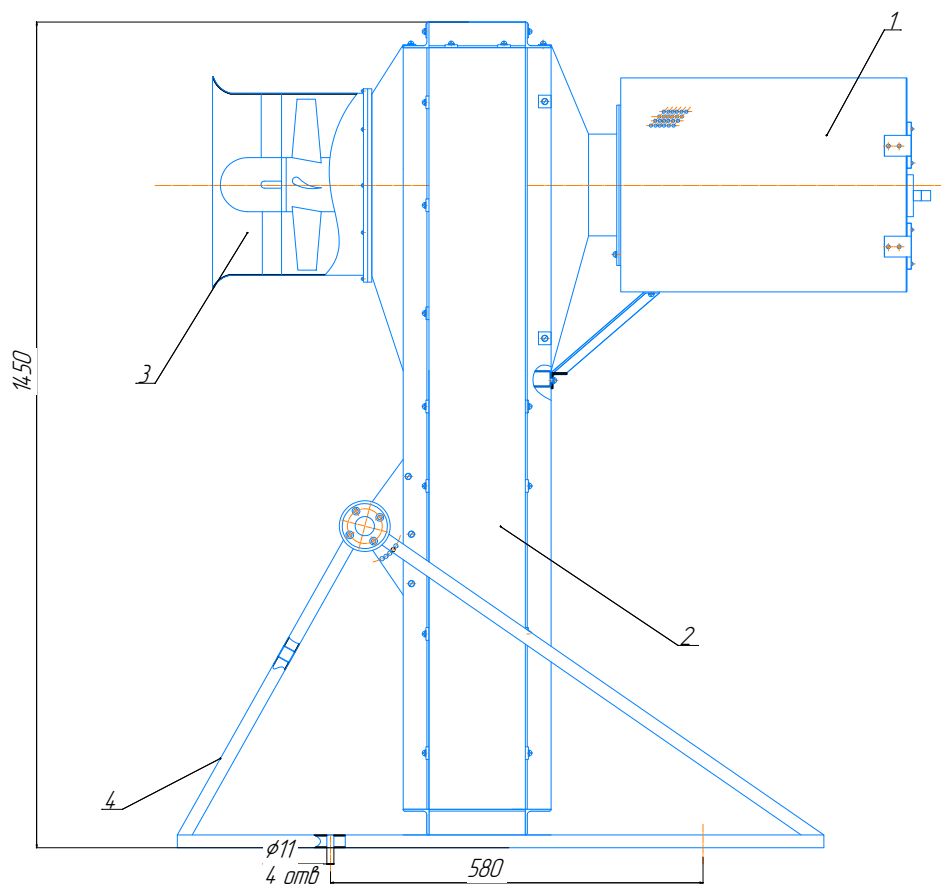


Рис. 16. Енергоефективна сушарка: 1 – камера сушіння, 2 - теплогенератор, 3 – вентилятор, 4 – рама, 5 – кронштейн

Камера сушіння приєднана до теплогенератора за допомогою кронштейна 5 та перехідника з фланцем 6. Вентилятор приєднано до теплогенератора за допомогою перехідника з фланцем 7.

Зібрана конструкція, а саме вентилятор, теплогенератор, камера сушіння приєднана гвинтами 15 до секторів, що приварені до горизонтальної осі 8 (рис. 17).

Вісь знаходиться в підшипникових опорах рами 4.

Таким чином конструкція має можливість зміни кута нахилу. Для фіксації кута нахилу передбачено 8 отворів та штифт, що у них вставляється.



Камера сушіння складається з наступних збірних одиниць: 1 – дверця-  
та, 2 – ручка, 3 – рама, 4 – фланець, 10 – кожух, 11 – направляюча, 12 – кожух

Рама камери сушіння представляє собою зварну конструкцію з кутника.

Зверху та збоку камеру сушіння закрито перфорованими кожухами 10 та 11. На задній стінці знаходиться фланець 4 для кріплення. Для полиць з продуктом передбачено горизонтальні направляючі 11, виконанні з кутника.

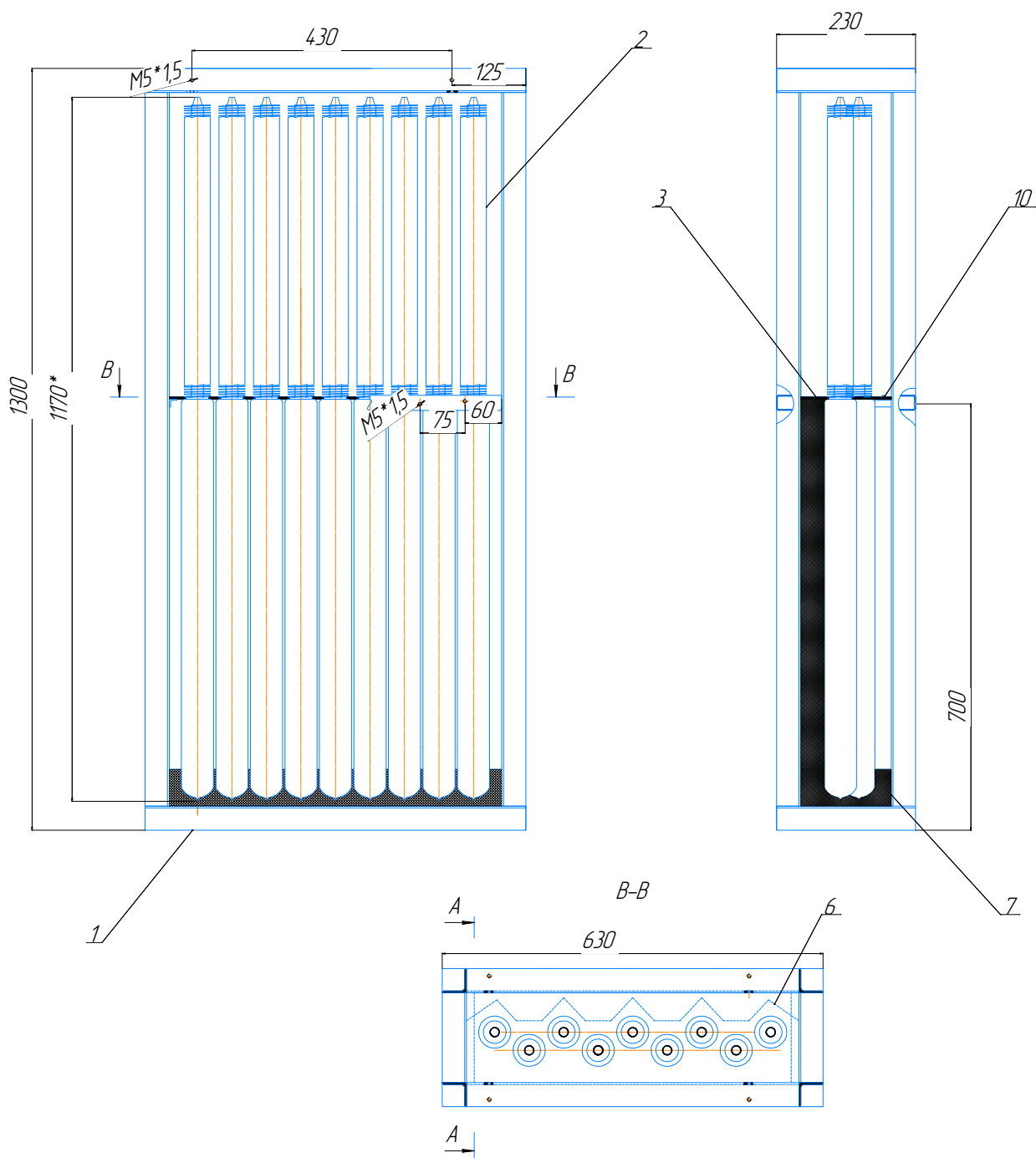


Рис. 19. Теплогенератор: 1 – рама, 2 – тепловий модуль, 3 – перегород-  
ка, 6 – відбивальна пластина, 7 – стакан

Теплогенератор складається з наступних збірних одиниць: 1 – рама, 2 – тепловий модуль, 3 – перегородка, 6 – відбивальна пластина, 7 – стакан. Рама являє собою зварну конструкцію з кутників.

Перегородку 3 за допомогою гвинтів 10 закріплено до поперечних кутників рами. За нижньою частиною теплових модулів знаходиться відбивальна пластина 6, яка виконана з полірованої нержавіючої сталі та забезпечує концентрацію сонячних променів і збільшує загальне ККД системи.

Простір між відбивальною пластиною та рамою заповнено теплоізоляційним матеріалом (поліуретанова піна). Нижні кінці теплових модулів вставлено в стакан 7 з теплоізоляційного матеріалу, що захищає нижній кінець скляної вакуумної трубки теплового модуля від пошкоджень.

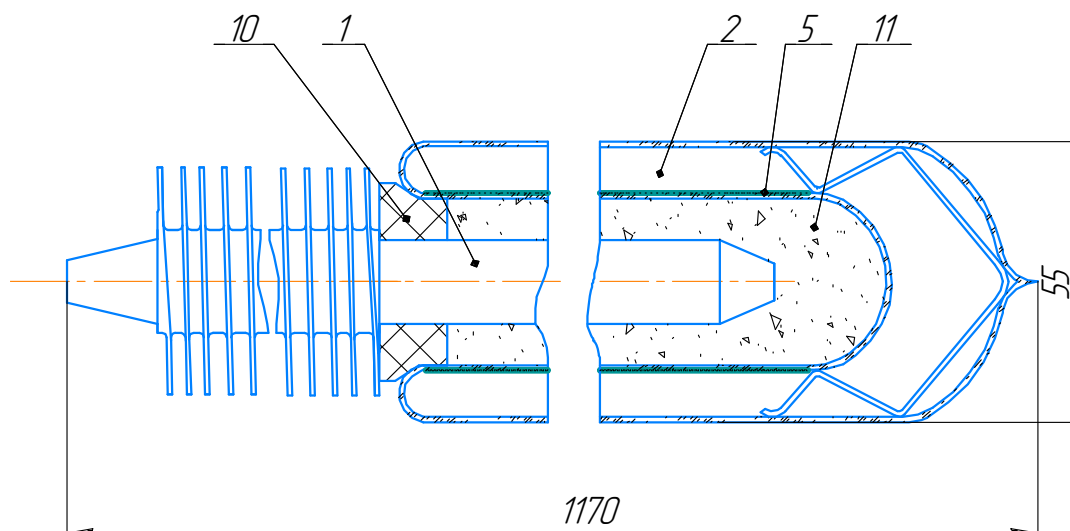


Рис. 20. Тепловий модуль: 1 – оребрений термосифон, 2 – коаксіальна вакуумна трубка, 5 – світлопоглинаюче покриття, 10 - корок

Тепловий модуль (рис. 20) складається з наступних збірних одиниць: 1 – оребрений термосифон, 2 – коаксіальна вакуумна трубка. Коаксіальна трубка фактично є термосом, з подвійною скляною колбою, в просторі між трубками створено вакуум. На стінці внутрішньої трубки нанесено поглинаюче покриття 5, тому передача тепла походить від поверхні скла. Всередині вакуумної трубки знаходиться теплопровідний елемент 11, що забезпечує передачу тепла від стінки вакуумної трубки до зовнішньої стінки випарника термосифону. Термосифон (рис. 21) складається з трубки 2, що умовно розділена

на випарник (гладка частина) та конденсатор, зовні якого знаходиться оребрення 1.

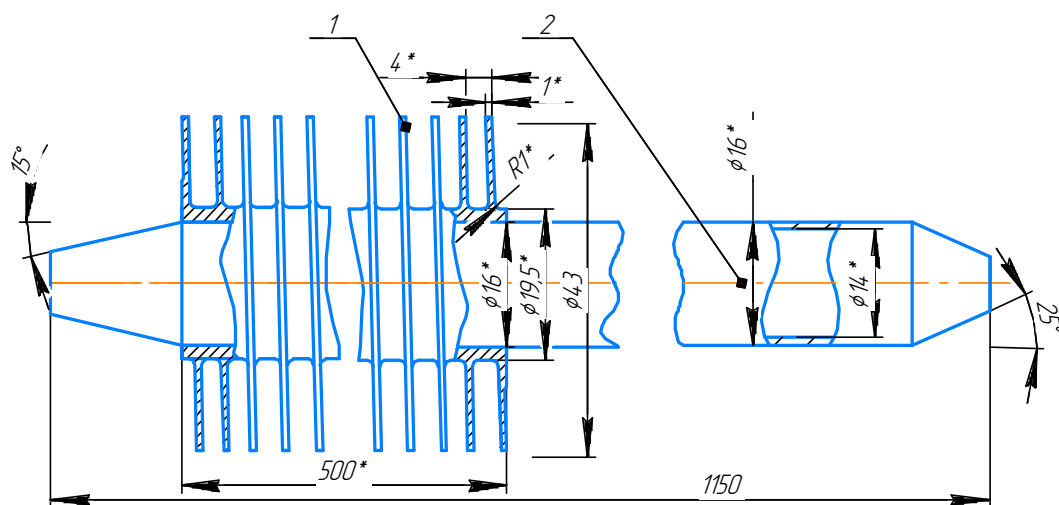


Рис. 21. Термосифон: 1 – трубка, 2 – оребрення

Всередині трубки знаходиться робоче тіло – етиловий спирт, трубку заповнено на 15-20 %.

Сушарка працює у наступному порядку. Теплогенератор установлюють під кутом  $50^\circ$  до горизонту. Сонячне випромінювання проходить через прозору зовнішню стінку вакуумної трубки 2 та потрапляє на світлопоглинальне покриття 5, де відбувається поглинання сонячної енергії, яка далі передається до теплопровідного елементу 11 і випарника теплової трубки. У випарнику відбувається фазовий перехід - випаровування робочого тіла. Далі пара робочого тіла потрапляє до конденсатора. Конденсатор обдувається повітрям з навколишнього середовища, що призводить до охолодження та конденсації пари робочого тіла, виділяється значна кількість теплової енергії, яка поглинається повітрям. Нагріте повітря подається до сушильної камери. Конденсат робочого тіла під дією сили тяжіння стікає до випарника, цикл повторюється. Подрібнений продукт у вигляді слайсів або кубиків завантажується у вигляді тонкого шару на полиці, які потім завантажуються в сушильну камеру. При температурі навколишнього повітря  $20^\circ\text{C}$ , інтенсивності сонячного випромінювання  $Q_c=1,0\dots1,55\text{ кВт/м}^2$ , витраті повітря у повітропроводі  $0,025\text{ м}^3/\text{с}$  можливо буде досягнути температури повітря на виході з колектора  $45\dots50^\circ\text{C}$ , ККД системи збільшиться до 80 %.

## 5 Експериментальна частина

Ідея установки полягає у використанні теплової труби з оребреним конденсатором для нагрівання повітря, що йде до камери сушіння за допомогою сонячного випромінювання. Теплоу трубу 1 розміщено у корпусі, який являє собою товстостінну трубу з поліетилену 2. У верхній частині розміщено вентилятор 3, який засмоктує повітря, що проходить через впускний отвір 4. Таким чином повітря проходить через оребрену зону конденсатора. Випарник та конденсатор розділено ізоляційним матеріалом 5. В зоні випарника трубу з поліетилену розрізано та вставлено металічний відбивач 6, який пофарбовано чорним кольором. Простір під відбивачем заповнено поліуретановою піною 7. Для зняття температурних показників на установці розміщено термопари (показані лініями зеленого кольору). Сигнал від термопар постував до АЦП (Regmik). Установку було розміщено під кутом 50 градусів до горизонту.

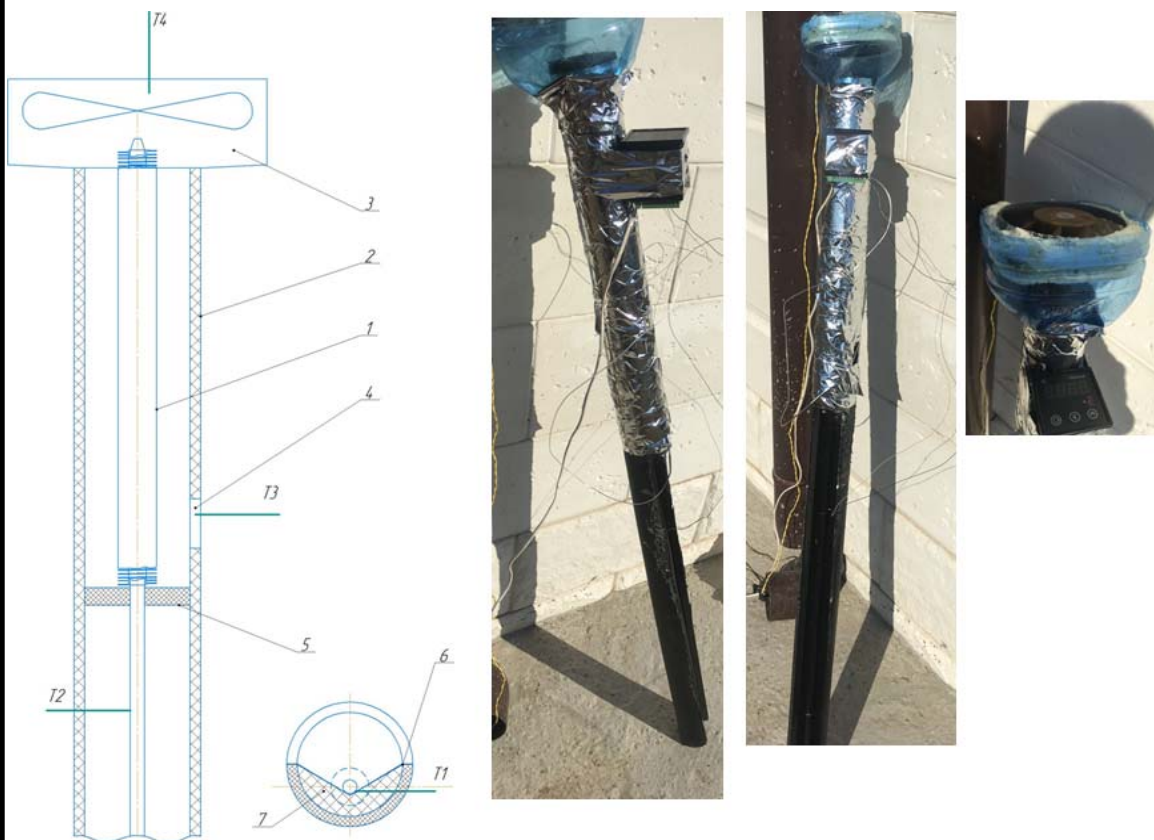


Рис. 22. Схема експериментальної установки

Дослідження проводили в середині дня між 11 та 12 годинами.

Кожні 15 хвилин реєстрували зміну температури на поверхні випарника та температуру повітря, що виходить з конденсатора. Швидкість та температуру повітря на виході реєстрували за допомогою анемометра GM 816.



Рис. 23. Прилади, що використовувались для вимірювань

Було отримано наступні дані. Синіми маркерами позначено температуру поверхні випарника.

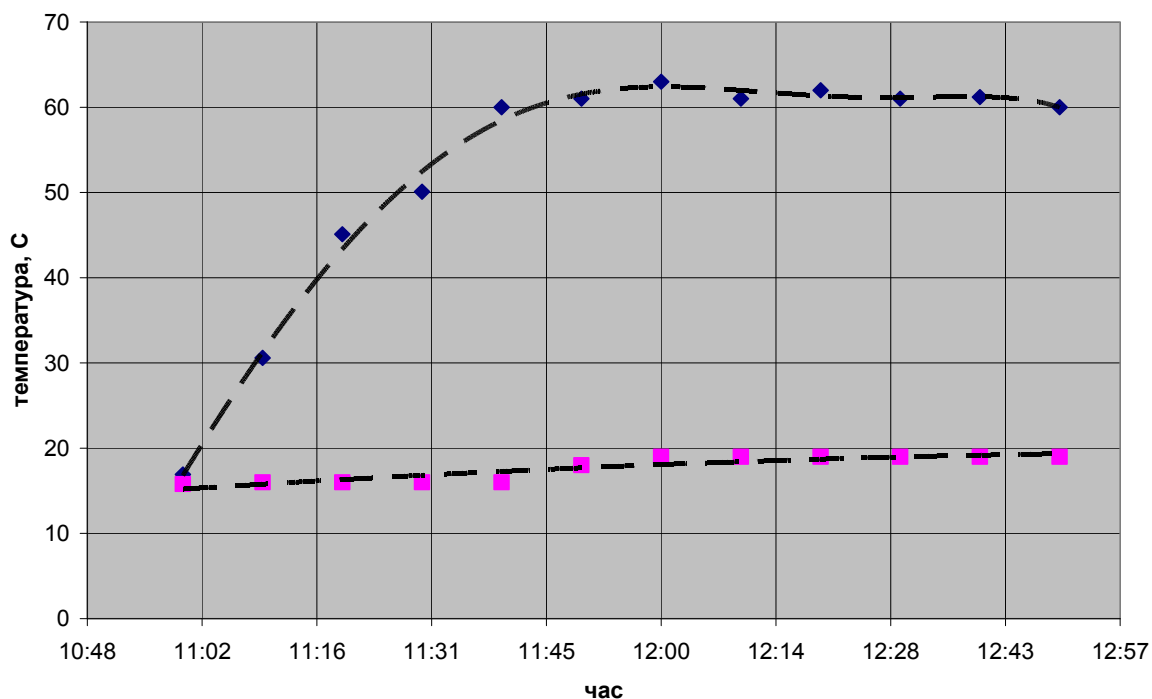


Рис. 24. Результати експериментальних досліджень

Червоними – температуру повітря на виході. Температура навколишнього середовища складала 16 °С. Витрати повітря на виході з установки складала 0,025 м<sup>3</sup>/с.

Експериментально визначено потужність теплового модуля:

$$Q = G \cdot C \cdot (t_2 - t_1) = 0.025 \cdot 1.27 \cdot 1030 \cdot (20 - 16) = 130.81 \text{ Вт}$$

Висновки роботи: потрібні подальші експериментальні дослідження; для досягнення більшої потужності необхідно встановлення вакуумних трубок на випарники ТС.

## 6. Технологічний розрахунок

Число Рейнольдса:

$$Re = \frac{\omega_x d_o}{\nu_x} = \frac{8,6 * 0,043}{24,1 * 10^{-6}} = 15344,4$$

$\nu_x$  кінематична в'язкість холодного теплоносія, м<sup>2</sup>/с.  $\nu_x = 24,1 * 10^{-6}$

$d_o = 0,019$  діаметр однієї труби

$d_p = 0,043$  діаметр ребер

$S_1 = 0,048$  поздовжній крок між ТТ

$S_2 = 0,055$  поперечний крок ТТ

$S = 0,0035$  крок між ребрами

За значенням числа Re визначаємо значення числа Нуссельта:

$$Nu = 0,0507 \left( \frac{S_1}{S_2} \right)^{0.2} * \left( \frac{S}{d_o} \right)^{0.18} * \left( \frac{h}{d_o} \right)^{0.14} * Re^{0.8} * Pr^{0.36}$$

Коефіцієнт теплопровідності повітря, Вт/мК:

$$\lambda = 0,03$$

Висота ребер, м:

$$h = \frac{d_p - d_o}{2} = \frac{0,043 - 0,019}{2} = 0,012$$

Число Прандтля для холодного повітря:

$$Pr = \frac{\mu_{пр} \cdot c_p}{\lambda_{пр}} = \frac{24,1 * 10^{-6} * 1030}{0,03} = 0,827$$

Отримуємо:

$$Nu = 0,0507 \left( \frac{S_1}{S_2} \right)^{0.2} * \left( \frac{S}{d_o} \right)^{0.18} * \left( \frac{h}{d_o} \right)^{0.14} * Re^{0.8} * Pr^{0.36} =$$

$$= 0,0507 \left( \frac{0,048}{0,055} \right)^{0,2} \left( \frac{0,048}{0,019} \right)^{0,18} \left( \frac{0,012}{0,019} \right)^{0,14} * 15344,40^{0,8} * 0,827433333^{0,36} = 114$$

Коефіцієнт тепловіддачі від холодного потоку, Вт/(м<sup>2</sup>К):

$$\alpha_x = \frac{Nu * \lambda}{d_o} = \frac{114 * 0,031}{0,043} = 82,2$$

Площа поверхні одного ТС

$$F = \left( 0,043^2 \cdot \frac{\pi}{4} \right) - \left( 0,0195^2 \cdot \frac{\pi}{4} \right) \cdot n = 0,163$$

де  $n$  - кількість ребер ТС  $n := \frac{495}{3,5} = 141$

Кількість теплоти від одного конденсатора ТС

$$Q = \alpha \cdot F \cdot (t_2 - t_1) = 54 \text{ Вт}$$

Приблизна кількість ТС

1) Масова продуктивність сушарки за вологою сировиною

$$G_{\Pi} = 1 \text{ кг/год};$$

$$G_{\Pi} = 0,00028 \text{ кг/с};$$

2) вид матеріалу, що висушується;

3) Початкова і кінцева вологість висушеного матеріалу, %;

$$W_{\Pi} = 85 \%$$

$$W_{\text{к}} = 14 \%$$

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

Літо		Зима	
$t_o$	= 22,6 °С	$t_o$	= -3,1 °С
$\phi$	= 61 %	$\phi$	= 88 %

м. Одеса

5) Початкова температура матеріалу

$$t_{31} = 15 \text{ °С}$$

6) Температура повітря на вході в сушарку

$$t_1 = 20 \text{ °С}$$

7) Температура відпрацьованого агента сушіння на виході із сушарки

$$t_2 = 25 \text{ °С}$$

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

Матеріальний баланс за загальною масою:

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

Матеріальний баланс по сухій речовині:

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

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

$$W = G_{\Pi} \cdot \frac{\omega_{\Pi} - \omega_{\text{к}}}{100 - \omega_{\text{к}}} = 0,0002778 \times \frac{85 - 14}{100 - 14} = 0,0002 \text{ кг/с};$$

де:  $G_{\Pi}$  – маса вологого матеріалу, кг/с;

$G_{\text{к}}$  – маса сухого продукту, кг/с;

$W$  – маса випареної води, кг/с;

$\omega_{\Pi}$  – початкова вологість матеріалу, %;

$\omega_{\text{к}}$  – вологість сухого продукту, %;

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

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

Літо		Зима	
$x_o$	= 0,01 кг/кг	$I_1$	= 55 кДж/кг
$x_2$	= 0,014 кг/кг	$I_o$	= 50 кДж/кг

**Матеріальний баланс сушильної установки з вологи:**

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

звідки витрати сухого повітря L

$$L = \frac{W}{x_2 - x_0} = \frac{0,00023}{0,014 - 0,01} = 0,1 \quad \text{кг/с;}$$

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

x<sub>0</sub>, x<sub>2</sub> - вологовміст повітря початковий і на виході з сушарки, кг /кг.**Тепловий баланс калориферу (кількість тепла на процес)**

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

Звідси витрати теплоти на нагрів повітря в сушарці

$$Q_{\text{пов}} = L (I_1 - I_0) = 0,1 \times (55 - 50) \times 10^3 = 500 \quad \text{Вт}$$

де: I<sub>0</sub> - ентальпія навколишнього повітря, Дж/кг;

Витрати теплоти на випаровування вологи

$$Q_{\text{вип}} = W \times r = 0,00023 \times 2376 \times 10^3 = 546,48 \quad \text{Вт}$$

Витрати теплоти на нагрів

$$Q_3 = G_{\text{п}} \times C \times (t_{32} - t_{31}) = 3 \times 10^{-4} \times 2250 \times (60 - 15) = 28,1273 \quad \text{Вт}$$

t<sub>32</sub> = 60 °C температура сушінняQ<sub>втр</sub> - втрати теплоти в довкілля, приймають як

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

Загальна кількість тепла на процес

$$Q = 500 + 546,48 + 28,12725 = 1074,607 \quad \text{Вт}$$

Кількість ТС 21

**Аеродинамічний розрахунок.**

Аеродинамічний опір холодному потоку, Па:

$$\Delta P_x = Eu_x \rho_x \omega_x^2 \frac{n_p}{2}$$

Число Ейлера можна розрахувати за такою методикою:

$$Eu = 3,2 \varepsilon^{0,5} \text{Re}^{-0,25} \left( \frac{S_1}{d_o} \right)^{-0,55} \left( \frac{S_2}{d_o} \right)^{-0,5} = 3,2 * 12,6^{0,5} * 15344,40^{-0,25}$$

$$\left( \frac{0,048}{0,019} \right) * \left( \frac{0,055}{0,019} \right) = 0,36$$

де ε - коефіцієнт оребрення = 12,6

$$\Delta P_x = Eu_x \rho_x \omega_x^2 \frac{n_p}{2} = 0,36 * 1,001 * 10,2^2 * \frac{6}{2} = 112,5$$

Аеродинамічний опір холодного потоку, Па:

$$Eu = 3,2 \varepsilon^{0,5} \text{Re}^{-0,25} \left( \frac{S_1}{d_o} \right)^{-0,55} \left( \frac{S_2}{d_o} \right)^{-0,5} = 3,2 * 12,6^{0,5} *$$

$$9004,70^{-0,25} * \left( \frac{0,048^{-0,55}}{0,019} \right) * \left( \frac{0,055^{-0,5}}{0,019} \right) = 0,412$$

$$\Delta P_z = E u_z \rho_z \omega_z^2 \frac{n_p}{2} = 0,412 * 1,04 * 10^2 * \frac{6}{2} = 128,5$$

## **7 Енергетичний аналіз лінії сушіння**

Енергоаудит – це обстеження підприємства, організацій або окремих їх ланок з метою визначення можливостей механізмів ефективного використання енергії. Найголовніше завдання енергоаудиту полягає в тому, щоб знайти нераціональні втрати енергоресурсів та провести розрахунки визначають, енергетичну ефективність підприємства. Енергоаудит повинен визначити і запропонувати підприємству ті заходи, які допоможуть виявити недоліки в системі енергозабезпечення. Енергетичне обстеження здатне досягти економії в енергоспоживанні приблизно на 15%. Енергоаудит підприємств може, вироблятися, як в обов'язковому порядку, так і добровільно, це зокрема, стосується підприємств, які бажають отримати державні субсидії. Обов'язкове проведення обстеження стосується підприємств, які споживають ресурси, понад 6000 тонн умовного палива. У ці рамки на сьогодні, входять майже всі великі та середні російські підприємства.

### **Етапи проведення енергетичного аудиту.**

Проведення енергетичного аудиту є дуже складним процесом. У розробку заходів, з енергозбереження дозволяють знизити витрати на виробництво одиниці продукції входять такі етапи:

1. Початковий етап - визначення параметрів по енергоефективності, включає проведення економічного обґрунтування проведення аудиту, вимір динаміки зміни сумарних витрат по енергоспоживанню за деякий час, ця операція необхідна для орієнтування аудитора в робочих процесах, що проводяться на підприємстві і оцінці рівня експлуатації обладнання, яке використовує електроенергію.
2. Визначення потенціалу енергогосподарства в цілому і окремих її елементів, отримання даних про підприємство та їх аналіз, для підвищення енергоефективності та вжиття заходів з енергозбереження.
3. Детальне обстеження технологічних схем з метою підвищення

надійності енергокористування і розробки енергобалансу необхідного для раціонального використання енергоресурсів.

4. Підвищення якості та рівня безпеки в роботі електроустановок. Проведення інструментального обстеження підприємства з метою одержання впевненості в точності результатів досліджень.

5. Виявлення реального обсягу енергії, задіяного при максимальному використанні ресурсів, які можливо економити.

Проведення цього етапу базується на тлі узагальнень і критичного аналізу отриманої інформації, також проводиться отримання рекомендацій щодо зниження витрат на ресурси і з контролю за проведенням заходів з енергозбереження.

#### **Завдання енергетичного аудиту.**

У завдання енергетичного аудиту енергозбереження входить перевірка документації та звітів по енергоспоживанню і перевірка наявних на підприємстві, сучасних технологій обліку ПЕР.

У завдання енергоаудиту по енергоефективності входить оцінка економічної роботи енергообладнання відповідно нормам і правилам, а також технічної та проектної документації.

1. Реалізація ефективного використання паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) при існуючому рівні розвитку технологій і дотримання екологічних вимог до навколишнього природного середовища, а також впровадження нових енергозберігаючих технологій.

2. Вироблення гарантованих способів щодо підвищення використання ПЕР, вони проводяться для встановлення ефективного застосування ПЕР всіх видів енергії, що включає як класичні, так і поновлювані джерела енергії.

3. Проведення енергетичних обстежень.

4. Створення та модернізація систем обліку ПЕР.

#### **Періодичність проведення аудиту.**

Згідно законодавчо закріпленим вимогам, проведення енергетичного

обстеження відбувається через кожні п'ять років.

Після проведення обстеження підприємству видається оновлений енергетичний паспорт. При з'явилися сумнівах в результатах енергоаудиту проводиться повторний аудит. При істотному зниженні енергоефективності підприємства призначається позачергове проведення енергоаудиту.

### **Схема технологічної лінії**

Яблука перевіряють, сортують за якістю, зрілістю, сортам і калібрують на три розміри (дрібні до 55, середні 55-75 і великі більше 75 мм). Технологічна лінія представлена на рис. 25. Плоди миють в універсальних машинах КУМ, оброблені отрутохімікатами при необхідності витримують 15-20 хв в 0,5 - 1%-ному розчині соляної кислоти і ополіскують. На машинах УТМ (НДР), " Унітекс " (ВНР), " Ексцельсіор " (Італія) та ФМК (США) трубчастими ножами вирізають насінневу камеру, зрізають шкірку товщиною 1 мм. Очищені плоди перевіряють і доочищають на стрічковому конвеєрі. Яблука ріжуть на кружки завтовшки 5-7 мм або часточки завдовжки не менше 30 і завтовшки 5 мм.

Для інактивації ферментів, що окислюють поліфеноли плодів з утворенням темнозабарвлених флобафенів, кружки плодів занурюють на 1-3 хв в 0,1-0,2% -ний розчин сірчистої або лимонної кислоти, або обкурюють 30-40 хв, або бланшують пором 35 хв.

На багатьох овочесушильних заводах яблука сушать у парових конвеєрних стрічкових сушарках за наступним режимом:

Питоме навантаження на стрічку, кг /м<sup>2</sup> .... 7,5

Температура повітря над стрічками, ° С: перша – 60...85; друга - 60...80; третя - 60...70; четверта – 40...90

Тривалість сушіння 3-3,5 год.

Вміст сухих речовин при сході зі стрічок, %

першою ..... 25

другий ..... 58

третьої ..... 77

четвертої ..... 80

Добова продуктивність сушарки ПКС-20400 кг сушених яблук, КСА-80 і СПК-90 - 2,1-2,2 т. Висушені плоди охолоджують, просіюють на віброситах, перевіряють, витримують 3-7 днів у засіках для вирівнювання вологості та упаковки. Лінія продуктивністю 120 кг/год (рис. 25) складається з стрічкових інспекційних конвеєрів, ковшових елеваторів, барабанної мийної машини, сита-трясучки з вібратором, вентиляторної мийної машини, елеватора, калібрувальної машини для сортування яблук за величиною на фракції 6 діаметром і 77 мм на сушіння і 40-45 мм на сік, двох розподільних конвеєрів, чотирьох карусельних машин для виїмки серцевини, і різання на часточки товщиною 3-5 мм, ланцюгового сульфітатора, де плоди в перфорованих відерках просуваються в розчині сірчистої кислоти і потім на сітці для стікання розчину, п'ятистрічкової конвеєрної сушарки з паровими калориферами, інспекційного конвеєра, двох приймальних бункерів, автоматичних ваг, напівавтомата для зварювання поліетиленових пакетів.

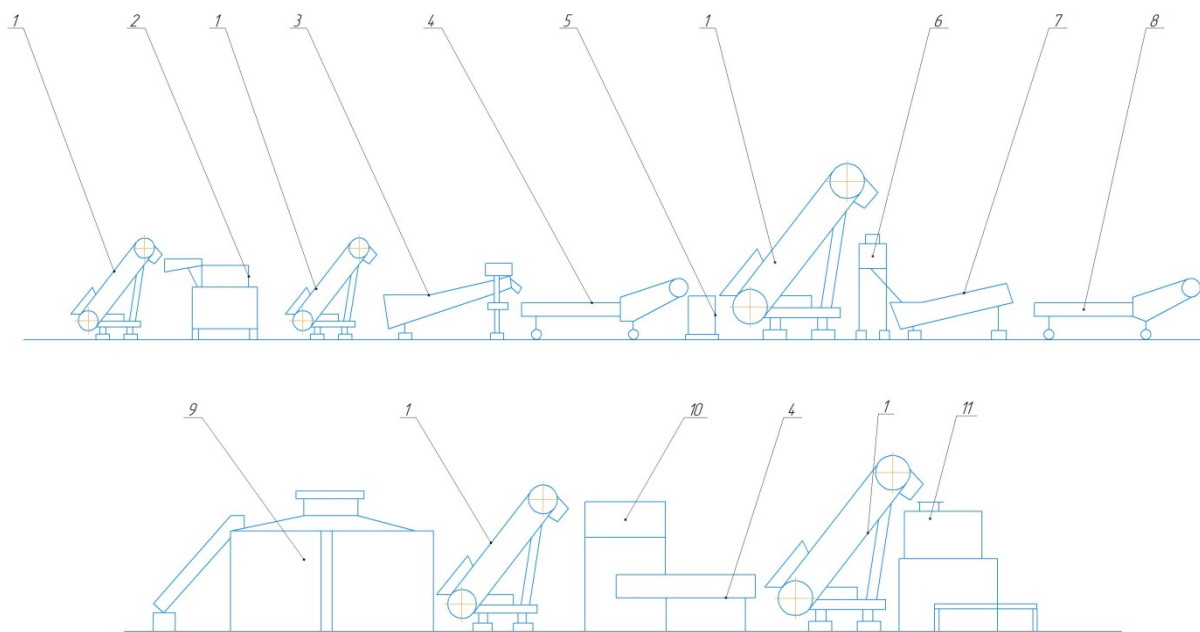


Рис. 25. Технологічна лінія для виробництва сушених яблук: 1 – елеватор; 2 - мийна машина; 3 - мийна машина; 4 - інспекційний конвеєр; 5 - сито; 6-різальна машина; 7 - сульфітатор; 8 - інспекційний конвеєр; 9 - сушарка; 10 - бункер; 11 - напівавтомат для зварювання пакетів

### Вартість енергоаудиту.

Ціноутворення при проведенні енергетичного аудиту становить основну його проблему. Невірно оцінені витрати можуть підірвати довіру до всього звіту по обстеженню. Найскладніші обстеження і робота висококваліфікованих фахівців не можуть коштувати дешево. При розробці цін на види робіт з аудиту необхідно дотримуватися специфіки певного підприємства.

Питомі енерговитрати (на кілограм продукції) лінії представлені в таблиці 1.

Ефективність апарата визначається кількістю енергії, що витрачається на процес для досягнення необхідного технологічного ефекту. У таблиці:  $\mathcal{E}$ , кВт – кількість електричної енергії, споживаної установками,  $Q$ , кВт – кількість теплової енергії, споживаної установками,  $\mathcal{E}_{уд}$ , кДж/кг – питомі витрати енергії на виробництво продукції.

Питомі витрати енергії на виробництво продукції розраховували по формулі:

$$\mathcal{E}_{уд} = \frac{\mathcal{E} + Q}{G} \quad (1)$$

де  $G$  – продуктивність лінії, кг/с

Таблиця 1

Енерговитрати лінії

Обладнання	$\mathcal{E}$ , кВт	$Q$ , кВт	$\mathcal{E}_{уд}$ , кДж/кг
елеватор	3,5		12,6
мийна машина	2,5		9,0
мийна машина	2,5		9,0
інспекційний конвеєр	3,5		12,6
різальна машина	1,8		6,5
інспекційний конвеєр	3,5		12,6
сушарка		101,5	365,1
Сумарні енерговитрати лінії			427,3

Для зручності аналізу дані представлено на круговій діаграмі (рис. 26).

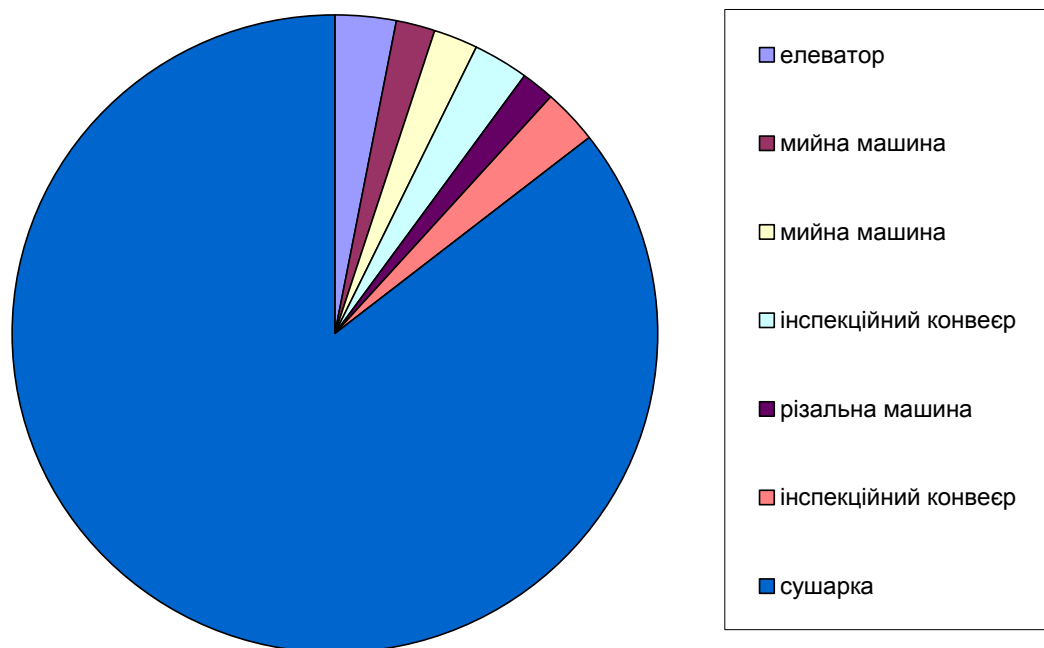


Рис. 26. Енерговитрати лінії

Як видно з розрахунків, найбільш енерговитратний сегмент лінії - сушіння. Для зменшення енерговитрат потрібно застосування енергоефективної сушарки.

## 8. Техніка безпеки і правила експлуатації машини

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

- ДСТУ 27-00-216-75 «Система стандартів безпеки праці, машини та обладнання продовольчі. Загальні вимоги безпеки»;
- «Інструкція з техніки безпеки до виробничої санітарії для консервної, харчоконцентратної та овочесушильної промисловості»;

2) Звукова потужність, що випромінюється працюючою машиною в режимі номінальної продуктивності у виробничому приміщенні не повинна створювати на робочому місці рівня звуку та рівня звукового тиску в октавних смугах частот спектра, що перевищують допустимі Гігієнічними нормами звукового тиску та рівня на робочих місцях № 1004-73.

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

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

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

Необхідними умовами безпечної експлуатації сушарки є:

- виготовлення і монтаж сушарки в точній відповідності з проектною та монтажною документацією;
- підгонка та приєднання всіх трубопроводів у відповідності з технологічною схемою, набивка и затяжка фланцевих з'єднань та їх герметизація;
- приєднання допоміжних пристроїв та механізмів, установка арматури контрольно-вимірювальних приборів, установка огорожень;
- випробування сушарки на міцність, герметичність і здача інспектору;
- проведення пробної експлуатації;

- проведення теплоізоляційних робіт;
- наявність інструкцій, затверджених у встановленому порядку, у відповідності з якими повинна проводитись експлуатація сушарки;
- своєчасне проведення ремонтних робіт;
- систематична перевірка запобіжних клапанів.

### **Порядок безпечної експлуатації апарату.**

Перш за все, сушарка повинна працювати в оптимальному тепловому режимі, який відповідає технологічному режиму теплової обробки продукту. Сушарка повинна забезпечуватись системою автоматичного регулювання температури та тиску теплоносія, що входить і температури продукту, що виходить. Для візуального контролю за параметрами теплоносія і продукту підігрівник забезпечується:

- ртутним термометром кл.0,5 ГОСТ 28679-80 0-150 (контроль температури води);
- ртутним термометром кл.0,5 ГОСТ 28679-80 0-100 (контроль температури продукту, що виходить);
- манометром 0-1,5 атм ГОСТ 28679-80 кл.0,2 (контроль тиску)

Оскільки сушарка відноситься до судів, які підлягають інспектуванню, він повинен періодично оглядатись:

1. Зовнішній огляд, без попередження підприємства, не рідше 1 разу на рік. Одночасно повинні контролюватись правильність експлуатації та рівень технічної підготовки персоналу;
2. Внутрішній огляд не рідше 1 разу на 3 роки, при огляді перевіряється стан внутрішніх поверхонь та зварних швів;
3. Гідравлічне випробування з попереднім внутрішнім оглядом рідше 1 разу в 6 років на міцність та герметичність. У випадку, якщо сушарка не знаходилась в експлуатації більше року або ремонтувалася, зв'язаного з нанесенням заплат и т.п., то перед пуском вона повинна бути гідравлічно випробувана. При усуненні наслідків аварії повинні бути встановлені причини, винуватці аварії, а

також розроблені заходи, направлені проти повторення подібних випадків.

4. Систематична очистка поверхонь теплообміну від забруднень, способи очистки підбираються в залежності від виду та ступеню забруднень (механічний, хімічний, гідравлічний, термічний).

#### **Техніка безпеки при експлуатації апаратів.**

Серед мір, які повинні прийматися керівництвом підприємства по створенню безпечних умов праці, слід назвати наступні:

1. Реєстрація сушарки в місцевій інспекції;
2. Оформлення спеціальної книги для реєстрації результатів випробувань та затвердження;
3. Організаційно-технічні заходи по створенню безпечних умов праці: затвердження інструкції по техніці безпеки для кожного робочого місця, інструктажі на робочому місці з проведенням реєстрації в спеціальному журналі, аналіз причин виникнення нещасних випадків та розробка заходів для попередження подібного у майбутньому;
4. Організація здачі техмінімуму по обслуговуванню сушарки;
5. Заборона підвищення тисків і температур в апараті і трубопроводах вище допустимих меж;
6. Внутрішній огляд сушарки допускається проводити лише при температурі не вище 30°C, напруга живлення освітлювальної апаратури та електроінструменту повинно бути 12В.
7. Вивішування забороняючих табличок в місцях, де можлива подача пари, продукту и т.п.
8. Використання лише регламентованого та справного інструменту.

## Використані літературні джерела

1. Лыков, А.В. Теория сушки коллоидных капиллярнопористых тел в пищевой промышленности / А.В. Лыков, Л. Я. Ауэрман – Л.: Гостехиздат, 1946.
2. Безбах, І. В. Інтенсифікація термообробки неньютонівських харчових рідин в апараті з ротаційним термосифоном : автореф. дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.18.12 "Процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та фармацевтичних виробництв" / Безбах Ігор Віталійович ; наук. кер. О. Г. Бурдо ; Одес. нац. акад. харч. технологій. – Одеса : ОНАХТ, 2002. – 17 с.
3. Tracking Industry 2020 Tracking report — June 2020  
<https://www.iea.org/reports/tracking-industry-2020>
4. Energy parameters of corn drying in a hot air dryer powered by exhaust gas waste heat: An optimization case study of the food-energy nexus // Energy Nexus Volume 4, 30 December 2021,100029  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772427121000292>
5. Методичні вказівки до курсового проектування "Барабанна сушарка". Упорядник Світличний П. А. – Одеса, ОНАХТ, 2000 р. – 20 с.
6. Чубик І. А., Маслов А. М. Довідник з теплофізичних констант харчових продуктів і напівфабрикатів. - М: Харчова промисловість, 1965.-154 с.
7. Стабніков В.М., Баранцев В.І. Процеси та апарати харчових виробництв.- М.: Легка і харчова пром-сть, 1983.-328 с.
8. Баранцев В.І. Збірник задач з процесів та апаратів харчових виробництв.- М.: Агропромиздат, 1985.-136 с.
9. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Приклади та завдання за курсом процесів та апаратів хімічної технології.-Л.: Хімія, 1987. - 576 с.
10. Розрахунки та завдання з процесів та апаратів харчових виробництв /С.М.Гребенюк, Н.С.Міхеєва, Ю.П.Грачев та ін.-М.: Агропромиздат, 1987. - 307 с

## Специфікації