

**ДНПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ**

**Інженерно-технологічний факультет**

**Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин**

**П о я с н ю в а л ь н а   з а п и с к а**

до дипломного проєкту

ступеня вищої освіти «Бакалавр» на тему:

Обґрунтування теплозберігаючого механізованого процесу  
при сушці зернових культур

**Виконав:** студент 3 курсу групи МС-4-20  
за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

Титоренко Владислав Романович \_\_\_\_\_

**Керівник:** \_\_\_\_\_ Золотовська Олена Володимирівна

**Рецензент:** \_\_\_\_\_

Дніпро – 2023

**ДНПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

Ступінь вищої освіти: «Бакалавр»

Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри

ТСГМ

(назва кафедри)

доцент

(вчене звання)

(підпис)

(прізвище, ініціали)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 р.

**З А В Д А Н Н Я  
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ СТУДЕНТУ**

Титоренко Владислав Романович

(прізвище, ім'я, по батькові)

**1. Тема роботи:** Обґрунтування теплозберігаючого механізованого процесу при сушці зернових культур

керівник роботи Золотовська Олена Володимирівна, к.т.н., доцент

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від

« 08 » травня 2023 року № 820

**2. Строк подання студентом роботи** 05.06.2023 р.

**3. Вихідні дані до проєкту** Характеристика господарства. Аналіз літературних джерел та обґрунтування актуальності дипломного проєкту. Аналіз схем обігріву теплонасосної установки.

**4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки** (перелік питань, які потрібно розробити). Характеристика господарства. 2. Огляд технологічних рішень. 3. Технологічне обґрунтування проєкту. 4. Охорона праці. 5. Техніко-економічні показники проєкту. Висновки. Бібліографічний список.

**5. Перелік графічного матеріалу** (з точним зазначенням обов'язкових креслень) 1. Аналіз господарства. Таблиці (А1). 2. Технологічна схема механізованого теплозберігаючого проєкту (А1). 3. Загальний вигляд СЗМ-540 з ТНУ (А1). 4. Складальне креслення пристрою вихрової труби (А2). Діафрагма пристрою вихрової труби (А3). Сопло пристрою вихрової труби (А3). 5. Економічний ефект впровадження проєкту.

**6. Консультанти розділів проєкту**

| Розділ        | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата      |               |
|---------------|---|-------------------|---------------|
|               |   | завдання<br>видав | завда<br>прий |
| 4             | Деркач О.Д., доцент                       |                   |               |
| нормоконтроль | Бойко В.Б., доцент                        |                   |               |

**7. Дата видачі завдання:** 12.02.2023 р.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

| № з/п | Назва етапів дипломного проєкту    | Строк виконання етапів роботи | І |
|-------|------------------------------------|-------------------------------|---|
| 1     | Характеристика господарства        | 12.02.23-12.03.23             |   |
| 2     | Огляд технологічних рішень проєкту | 13.03.23-14.04.24             |   |
| 3     | Технологічний                      | 15.04.23-20.05.23             |   |
| 4     | Охорона праці                      | 16.04.23-20.05.23             |   |
| 5     | Економічний                        | 17.04.23-5.06.23              |   |
| 6     | Графічна частина                   | 10.05.23-5.06.23              |   |

**Студент**

\_\_\_\_\_ ( підпис )

**Титоренко В.Р.**

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

**Керівник роботи**

\_\_\_\_\_ ( підпис )

**Золотовська О.В.**

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

| №строк | Формат            | Позначення           |      |      | Найменування                                     | Кільк.<br>листів | Номер<br>листа | Примітка |
|--------|-------------------|----------------------|------|------|--|------------------|----------------|----------|
|        |                   |                      |      |      | Документація                                     |                  |                |          |
| 1      | A4                | 52.ДП.039.000.000.ПЗ |      |      | Розрахунково -<br>пояснювальна записка           | 68               |                |          |
| 2      | A1                | 52.ДП.039.000.001    |      |      | Аналіз господарства                              | 1                | 1              |          |
| 3      | A1                | 52.ДП.039.000.002    |      |      | Технологічна схема<br>нізованого<br>чого процесу | 1                | 2              |          |
| 4      | A1                | 52.ДП.039.000.003.ВЗ |      |      | Загальний вигляд СЗШ-8<br>з теплонасосною<br>кою | 1                | 3              |          |
| 5      | A2                | 52.ДП.039.000.004.СК |      |      | Складальне креслення<br>пристрою вихрової труби  | 1                | 4              |          |
| 6      | A3                | 52.ДП.039.000.005.СК |      |      | Діафрагма пристрою<br>вихрової труби             | 1                | 5              |          |
| 7      | A3                | 52.ДП.039.000.006.СК |      |      | Сопло пристрою вихрової<br>труби                 | 1                | 6              |          |
| 8      | A1                | 52.ДП.039.000.007    |      |      | Економічний ефект<br>впровадження проекту        | 1                | 7              |          |
|        |                   |                      |      |      | <b>52.ДП.039.000.000.ПЗ</b>                      |                  |                |          |
|        |                   |                      |      |      |  |                  |                |          |
| Зм     | Лист              | № докум              | Підп | Дата |  |                  |                |          |
| Розроб | Титоренко<br>В.Р. |                      |      |      | <b>Відомості</b>                                 | Літ              | Лист           | Листів   |

|                            |                              |  |  |                               |                                |  |  |  |           |
|----------------------------|------------------------------|--|--|-------------------------------|--------------------------------|--|--|--|-----------|
| <i>Перев.</i>              | <i>ЗОЛОТОВСЬК<br/>а О.В.</i> |  |  | <i>ДИПЛОМНОГО<br/>проекту</i> |                                |  |  |  | <i>68</i> |
| <i>Н.Контр</i><br><i>р</i> | <i>Бойко В.Б.</i>            |  |  |                               | <i>ДДАЕУ<br/>Група МС-4-20</i> |  |  |  |           |
| <i>Затв.</i>               | <i>ЗОЛОТОВСЬК<br/>а О.В.</i> |  |  |                               |                                |  |  |  |           |

## АНОТАЦІЯ

Титоренко В.Р. Обґрунтування теплозберігаючого механізованого процесу при сушці зернових культур/ Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «бакалавр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія». – ДДАЕУ, Дніпро, 2023

Об'єктом розробки є енергозберігаюча теплонасосна установка.

Мета розробки – зменшення затрат на паливно-мастильні матеріали, зниження негативного впливу на екологічний стан навколишнього середовища, покращення якості вихідного продукту.

Розглянуто види теплонасосних установок. Вибрано об'єкт аналізу і обґрунтовано конструктивно-технологічну схему. Для її реалізації виконано необхідні технологічні розрахунки.

Сформульовані основні положення з охорони праці при виконанні технологічних операцій та обслуговуванні техніки. Проведено техніко-економічне обґрунтування проекту.

Ключові слова: теплонасосна установка, паливно-мастильні матеріали, конструктивно-технологічна схема.

## ЗМІСТ

|  |    |
|--|----|
| АНОТАЦІЯ   |    |
| ВСТУП  |    |
| 1 ХАРАКТЕРИСТИКА ГОСПОДАРСТВА  | 10 |
| 1.1 Структура господарства   | 10 |
| 1.2 Обсяг землекористування  | 13 |
| 1.3 Машинно-тракторний та автомобільний парк   | 14 |
| 1.4 Витрата нафтопродуктів   | 16 |
| 1.5 Механізація процесу теплової обробки зерна   | 16 |
| 1.6 Висновки   | 19 |
| 2 ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ МЕХАНІЗОВАНОЇ ТЕПЛОВОЇ ОБРОБКИ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР  | 20 |
| 2.1 Актуальність теми дипломного проекту   | 20 |
| 2.2 Аналіз використання теплонасосних установок  | 22 |
| 2.2.1 Принцип дії теплового насоса   | 22 |
| 2.2.2 Класифікація теплових насосів  | 25 |
| 2.3 Аналіз технічних рішень механізації теплової обробки зерна                             | 26 |
| 2.3.1 Бункери активного вентилявання   | 26 |
| 2.3.2 Барабанні та шахтні сушарки  | 28 |
| 2.3.3 Сушка з двухстадійним процесом теплового насоса                                      | 30 |
| 2.4 Екологічний аналіз використання установки  | 32 |
| 2.5 Теплоенергетичний аналіз використання теплового насосу                                 | 33 |
| 2.6 Висновки   | 35 |
| 3 ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ   | 36 |
| 3.1 Застосування теплових насосів у процесі сушіння  | 36 |
| 3.2 Термодинамічні основи роботи парокомпресійного теплового насоса                        | 37 |
| 3.3 Розрахунок парокомпресійного теплового насоса з регенерацією тепла                     | 42 |
| 3.4 Розрахунок парокомпресійного теплового насоса з регенерацією тепла та переохолодженням | 46 |
| 3.5 Вибір теплонасосної установки  | 51 |
| 3.6 Розрахунок пристрою вихрової труби   | 52 |
| 3.6.1 Розрахунок продуктивності пристрою вихрової труби                                    | 52 |
| 3.6.2 Конструктивний розрахунок параметрів пристрою вихрової труби                         | 53 |
| 3.7 Висновки   | 54 |
| 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО   | 56 |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>СЕРЕДОВИЩА</b>  |           |
| 4.1 Стан організації охорони праці   | 56        |
| 4.2 Низка заходів щодо забезпечення безпеки під час експлуатації зерносушильного комплексу | 57        |
| 4.2.1 Загальні вимоги з охорони праці  | 57        |
| 4.2.2 Вимоги охорони праці для операторів зерносушильних установок.                        | 58        |
| 4.2.3 Вимоги охорони праці після закінчення роботи   | 59        |
| 4.3 Висновок   | 59        |
| <b>5 РОЗРАХУНОК ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ПРОЕКТУ</b>                                 | <b>61</b> |
| 5.1 Висновки   | 64        |
| Список використаних джерел   | 67        |
| Додатки  |           |

## ВСТУП

Виникнення ринкових відносин і різноманітних форм власності на засоби виробництва вимагає нового якісного підходу до вирішення сільськогосподарських проблем.

Рослинництво відіграє центральну роль у сільському господарстві. Воно задовольняє більшу частину потреб населення в продуктах харчування. Рослинництво є однією з основних галузей сільськогосподарського виробництва, особливо виробництво зернових культур, які забезпечують населення необхідними продуктами харчування.

Як відомо, загальний урожай сільськогосподарських культур, зокрема зернових, є основою процвітання сільськогосподарських підприємств, але багато чинників призводять до того, що загальний урожай сільськогосподарських культур змінюється з року в рік.

Наприклад, одним із найважливіших етапів у технології виробництва зерна є сушіння зерна для зниження його вологості, а під час сушіння зерна на насіння вимоги до видалення вологи значно вищі. Термічне сушіння зерна в зерносушарках є найпродуктивнішим і технічно ефективнішим, хоча й значно дорожчим.

Сьогодні ми стикаємося з проблемою зростання цін на нафту, що суттєво впливає на собівартість зерна. На жаль, ухвалена урядом комплексна національна програма енергозбереження не може повністю розв'язати цю проблему, тому що Україна може забезпечити з власних ресурсів лише 20% природного газу та 10% нафти, а решта палива та енергії імпортується.

Наприклад, сушіння зерна споживає велику кількість палива, залежно від типу сушарки. Використання систем теплових насосів у сушарках може значно знизити ці витрати на паливо.

Крім того, під час сушіння зерна на насіння необхідно дотримуватися певних температурних умов. Допустима температура зерна під час сушіння здебільшого визначається допустимою температурою білкової речовини.

Перевищення допустимої температури нагріву зерна спричиняє коагуляцію білків, втрату життєвих функцій насінини, зниження схожості, а в зерні пшениці – різке зниження розтяжності білків ендосперму та зменшення кількості і якості клейковини. Оскільки білки зародка чутливі до тепла, насіннєве зерно необхідно сушити за м'якшого температурного режиму, чого можна досягти шляхом використання теплових насосів і з певними температурними режимами сушіння та охолодження.

Темою дипломного проєкту є розробка теплоощадного механізованого процесу з використанням теплових насосів у господарстві «Хлистун» розташована в селі Новоалександрівка Синельниківського району Дніпровської області для удосконалення процесу конвективного сушіння зерна в зерносушарці СЗС-8 з використанням енергоощадної технології.

Таким чином, метою проєкту є підвищення ефективності сушіння зерна та економія витрат на паливо шляхом впровадження механічних засобів теплової обробки зерна на основі теплових насосів.

Основними завданнями проєкту є:

- обґрунтування механізованого процесу конвективного сушіння зерна;
- раціоналізація процесу сушіння та охолодження зерна за допомогою теплових насосів;
- поліпшення якості насіннєвого зерна під час сушіння за рахунок меншого впливу температури на насіння;
- впровадження енергозберігаючих технологій при сушінні зерна.

Проєктом пропонується обґрунтувати технічний процес сушіння зерна в сушарках шляхом впровадження теплонасосних установок, що сприятиме підвищенню ефективності технічного процесу сушіння зерна на насіння, турботі про навколишнє середовище і зниженню собівартості виробництва зерна за рахунок економії ресурсів, і буде використовуватися на українських сільськогосподарських підприємствах для широкого застосування.

# 1 ХАРАКТЕРИСТИКА ГОСПОДАРСТВА

## 1.1 Структура господарства

Товариство з обмеженою відповідальністю «Хлистун» розташована в селі Новоалександрівка Синельниківського району Дніпровської області.

На території ферми знаходиться тракторна бригада, машинна майстерня та гараж.

Структура землі:

Загальна площа - 116 га;

Оброблювані землі -116 га;

Основними видами діяльності господарства є рослинництво:

Озима пшениця - 32 га;

Ярий ячмінь – 20 га;;

Кукурудза на зерно - 44 га;

Соняшник - 20 га.

Земля на фермі багата чорноземом. Породи, що формують ґрунт, являють собою переважно важкі суглинки. Основні землекористування господарства зайняті звичайними чорноземами, малогумусними ґрунтами та їхніми різновидами. Ці ґрунти мають сприятливі для сільського господарства пестицидні властивості.

Багаторічні спостереження за впливом кліматичних умов на сільськогосподарське виробництво показують, що погодні умови відіграють важливу роль у визначенні врожайності сільськогосподарських культур.

Товариство розташоване в помірно-континентальній кліматичній зоні, що характеризується спекотним літом і різкими коливаннями температури взимку. Влітку часто бувають сухі вітри; взимку температура підвищується до +10-13°C і тоне сніг; у квітні та травні

можливі заморозки; взимку температура може бути як низькою до +10°C, так і високою до +10°C; взимку температура може бути як високою до +10°C, так і низькою до -13°C. Навесні переважають східні вітри.

Навесні середньодобові температури перевищують +10°C у другий рік квітня і +15°C у другий рік травня. Тривалість теплого періоду (вище 10°C) становить 165-175 днів. Перші осінні заморозки трапляються наприкінці вересня-на початку жовтня.

Метеорологічні дані були надані Дніпровським метеорологічним центром і наведені в таблиці 1.1.

| Роки                | Місяці |      |     |      |      |      |      |      |      |     |     |      | Середня за рік |
|---------------------|--------|------|-----|------|------|------|------|------|------|-----|-----|------|----------------|
|                     | 1      | 2    | 3   | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10  | 11  | 12   |                |
| 2021                | -5,3   | -1,4 | 1,9 | 13,3 | 14,8 | 18,1 | 21   | 20,8 | 13,4 | 8,6 | 3,1 | 4,5  | 9,4            |
| 2022                | -0,2   | -2,6 | 3,8 | 11,1 | 13,6 | 17,6 | 25,1 | 22   | 15,3 | 8,9 | 1,4 | -6,8 | 9,1            |
| 2023                | -3,5   | 2,7  | 5,5 | 9,2  | 16   | 19,3 | 24,7 | 20,7 | 16,2 | 7,8 | 4,1 | -8,9 | 9,5            |
| Середня багаторічна | -3,2   | -0,4 | 3,7 | 11,2 | 14,8 | 18,3 | 23,6 | 21,2 | 15,0 | 8,4 | 2,8 | -2,6 | 9,3            |

Середньомісячна температура в травні була на 10°C нижчою за середнє багаторічне значення і становила 14,8-15,5°C нижче нуля.

Середньомісячні температури в червні були на 0,5-1,50°C вищими за середні багаторічні значення і досягали 20-21°C нижче нуля.

Середньомісячні температури в червні були на 0,5-1,50°C вищими за середні багаторічні значення і коливалися в межах 20-21°C нижче нуля. Мінімальні температури опускалися до 7-11°C, а максимальні температури сягали 32-34°C.

Середні температури липня були близькими до середніх багаторічних значень і становили 22-23,5°C.

У перші 10 днів серпня спостерігалася незвично спекотна і суха погода. Середньодобові температури були на 2-8°C вищими за норму і коливалися в межах 23-29°C. Середньомісячні температури були на 2-3°C вищими за середні багаторічні значення і коливалися в межах 22,5-24,0°C.

Середні температури у вересні були на 16-17,50°C вищими за норму і на 1-1,50°C вищими за середні багаторічні значення.

| Роки                | Місяці |      |      |      |      |      |      |      |       |      |      |      | Сума за рік |
|---------------------|--------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|-------------|
|                     | 1      | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9     | 10   | 11   | 12   |             |
| 2021                | 46,2   | 21,3 | 65,2 | 23,8 | 20,4 | 95,3 | 34,5 | 24,1 | 124,8 | 0,7  | 6,6  | 33,6 | 496,5       |
| 2022                | 20,4   | 51   | 49,8 | 37,7 | 66,2 | 80,7 | 25,9 | 16,1 | 40,8  | 20,5 | 21,4 | 19,8 | 450,3       |
| 2023                | 11,2   | 21,3 | 25,1 | 14,1 | 51,2 | 54,4 | 60,6 | 15,7 | 102,1 | 67,4 | 34   | 5,9  | 463         |
| Середня багаторічна | 25,9   | 31,2 | 46,7 | 25,2 | 45,9 | 76,8 | 40,3 | 18,6 | 89,2  | 29,5 | 20,7 | 19,8 | 469,9       |

У травні спостерігалися нестабільні погодні умови зі значними опадами та частими грозами. Середня кількість опадів у травні склала 68мм, що становить 145% від норми.

У червні спостерігалися нестійкі погодні умови зі значними опадами та частими сильними зливами, шквалами та градом. Середня кількість опадів склала 65мм/місяць, що становить 105% від норми.

Липень відзначився помірно теплою погодою, знедостатньою кількістю опадів, які в основному спостерігалися в другій декаді, але з характером сильних злив, які були дуже нерівномірно розподілені по регіонах. В середньому по області випало 41мм опадів, що склало 75% від норми.

У третій декаді серпня опади мали переважно грозовий характер і були нерівномірно розподілені по території області: в середньому за серпень в області випало 44мм опадів, що становить 107% від норми.

Лише протягом перших 10 днів вересня погода була нестабільною, з частими, іноді сильними зливами та шквалами; середня кількість опадів за місяць склала 31мм, що становить 84% від норми.

Основними завданнями були вдосконалення та розробка загальних прийомів вирощування зернових культур, розробка ключових елементів збалансованих систем землеробства та ресурсозберігаючих технологій, а також насінництво батьківських та перспективних гібридів кукурудзи. Виробництво елітного насіння озимих, круп'яних та олійних культур. Сприяти взаємовигідному розподілу насіння державам, колективам, фермерам та іншим сільськогосподарським організаціям.

ТОВ "Хлистун" має родючі ґрунти, територію зі сприятливим кліматом, але з нестачею вологи, рівнинний рельєф і хороші кадрові умови для ведення сільського господарства.

## **1.2 Обсяг землекористування**

Наявність технічної документації та ґрунтових досліджень на фермах дала змогу визначити розмір і склад усіх земельних володінь та виконати завдання з управління земельними ресурсами, як-от правильний розподіл площі польових і ґрунтозахисних сівозмін, визначення систем обробітку ґрунту та внесення добрив.

Стале сільське господарство вимагає пильної уваги до управління посівами.

Необхідно впроваджувати раціональні сівозміни. Сівозміна має бути одним із найефективніших агрономічних засобів боротьби з бур'янами,

хворобами та шкідниками, запобігання ерозії ґрунту, ефективного використання техніки та підвищення продуктивності праці.

| Культура           | 2021 рік |     | 2022 рік |     |
|--------------------|----------|-----|----------|-----|
|                    | га       | %   | га       | %   |
| Оз. пшениця        | 30       | 30  | 30       | 30  |
| Яр. ячмінь         | 15       | 15  | 10       | 10  |
| Кукурудза на зерно | 40       | 40  | 50       | 50  |
| Соняшник           | 15       | 15  | 10       | 10  |
| Всього             | 100      | 100 | 100      | 100 |

Основний тип ґрунту – чорнозем звичайний. Землі компанії мають переважно рівнинний рельєф. Поля розділені насадженнями, що означає, що процес вітрової ерозії майже відсутній, а також затримує і захищає поширення вогню(влітку) на інші (сусідні) поля в результаті пожежі.

Загальний врожай сільськогосподарських культур є основою для процвітання сільськогосподарських підприємств, але багато факторів призводять до того, що загальний врожай сільськогосподарських культур змінюється з року в рік.

### **1.3 Машинно-тракторний та автомобільний парк**

Машинно-тракторний парк ТОВ "Хлистун" покищо невеликий і складається з гаража та майстерні, де зберігається техніка.

У приміщенні гаража знаходиться склад пального та запасних частин, а також ремонтна майстерня.

Для здійснення виробничого процесу сільськогосподарського виробництва є парк машин і тракторів, наведений у таблиці 1.4, а також сільськогосподарська техніка, наведена в таблиці 1.5.

Таблиця 1.4 – Машинно-тракторний та автомобільний парк

| Трактори:   | Кількість: |
|-------------|------------|
| ЮМЗ-6       | 3          |
| МТЗ-80      | 1          |
| Комбайни:   |            |
| СК-5 «Нива» | 1          |
| Автомобілі  |            |
| ЗИЛ-130     | 1          |
| ГАЗ-53      | 1          |

Таблиця 1.5 – Склад сільськогосподарської техніки

| Культиватори: | Кількість: |
|---------------|------------|
| КПС-4         | 1          |
| Сівалки:      |            |
| СЗ-3,6        | 2          |
| Плуги:        |            |
| ПЛН-3-35      | 2          |
| Борони:       |            |
| БДДТ-3        | 1          |

Аналізуючи таблиці 1.4 та 1.5, можна зазначити, що господарство машинно-тракторним парком та сільськогосподарською технікою забезпечене на достатньому рівні. У сезон збирання врожаю ферми невідчувають нестачі в техніці.

#### **1.4 Витрата нафтопродуктів**

Для забезпечення техніки паливно-мастильними продуктами нафто ферми обладнуються спорудами в гаражній зоні, включно зі стаціонарними спорудами для транспортування, зберігання і видачі паливно-мастильних матеріалів.

На нафтофермі є центральний склад і заправастанція на пункті технічного обслуговування машин і тракторів. З пунктів технічного обслуговування паливо доставляється на трактори і комбайни на місці мобільними автоцистернами.

Нині ми стикаємося з проблемою зростання цін на нафтопродукти, що суттєво впливає на собівартість зерна.

Сушіння зерна потребує великої кількості палива, і, залежно від типу сушарки, на зниження вологості з 20% до 14% витрачається приблизно 80 кг палива на тонну зерна. Ці витрати на паливо можуть бути значно знижені за рахунок використання теплових насосів у сушарці.

#### **1.5 Механізація процесу теплової обробки зерна**

У ТОВ «Хлистун» після збирання врожаю проводяться заходи що до зниження вмісту вологи у зерні. Вимоги до процесу видалення вологи дуже суворі тому, що у господарстві вирощують зернові на насіння.

У господарстві використовують конвективний спосіб видалення вологи із зерна. Конвективне сушіння – це метод передання тепла зерну

конвекційними струмами від рухомого вологопоглинача (нагрітого повітря або суміші повітря і пічних газів). Крім передачі тепла, вологопоглинач поглинає і видаляє вологу із зерна. За цим методом працюють сушарки різних конструкцій. Теплове сушіння зерна в зерносушарках є найбільш продуктивним і технічно ефективним, але значно дорожчим. При конвективному способі теплопередачі головною технологічною характеристикою є стан шару зерна в процесі його сушіння й охолодження. Шар зерна може знаходитися в нерухомому і в рухомому станах.

Процес сушіння зерна можна представити у вигляді трьох періодів:

1) порівняно короткий період прогріву , коли сушка сповільнена через знижену температури зерна;

2) після прогріву настає період постійної, максимально високої швидкості сушки, коли випаровування вологи з поверхні зерна ще не обмежується її притокою з внутрішніх шарів. Швидкість процесу сушіння визначається здатністю зерна до вологовіддачі при даній температурі нагріву і параметрами агента сушіння: його температурою, вологістю, швидкістю руху. Швидкість сушіння і температура зерна в цей період постійні. Кількість води в зерні змінюється з постійною швидкістю. Відпрацьований агент сушіння максимально насичений вологою в цей період. Чим вище вихідна вологість зерна, тим вище швидкість сушіння .

3) період спадної швидкості сушіння починається з моменту, коли приплив вологи з центральних частин зерна відстає від швидкості її випаровування, і на поверхні зерна утворюються ділянки, які недостатньо насичені вологою. Швидкість сушіння визначає вже не здатність повітря поглинати вологу, а все зменшувана швидкість, з якою зерно віддає вологу , в результаті чого відпрацьоване повітря йде з сушарки недонасиченим вологою. У цей період швидко збільшується температура зерна спочатку з поверхні, потім всередині, також швидко зменшується швидкість сушіння . У заключній частині етапу швидкість сушіння зерна падає до нуля. Вологість

зерна поступово знижується і встановлюється на постійному рівноважному рівні, значно погіршується використання здатності агента сушіння до поглинання вологи, і різко зростають витрати палива на видалення кожного кілограма води.

Після сушіння зерно охолоджують. Для цього на завершальному етапі сушки зерно обробляють холодним повітрям. Температура зерна після охолодження не повинна перевищувати температуру навколишнього повітря більш ніж на 10 -15 °С.

При сушінні зерна на насіння необхідно дотримуватись певних температурних режимів. Температурна стійкість зерна при сушінні визначається, головним чином, температурною стійкістю його білкових речовин. Перевищення допустимої температури нагріву зерна викликає коагуляцію білка, втрату життєвих функцій насіння і здатності їх до проростання, а у зерна пшениці - різке погіршення розтяжності білків ендосперму, зниження кількості та якості клейковини. Насіннєве зерно необхідно сушити при більш м'якому температурному режимі, так як білки зародка менш стійкі до нагрівання і, крім того, зародок знаходиться безпосередньо під оболонкою, прогрівається і висихає в першу чергу. Тому норма виробітку при сушінні насіннєвого зерна порівняно з продовольчим знижується в 2 рази.

У ТОВ «Хлистун» використовують зерносушарку СЗМ-540. Технічна характеристика сушарки наведена у таблиці 1.6.

Таблиця 1.6 – Технічні характеристики зерносушарки **СЗМ-540**

| Найменування характеристики | СЗМ-540                                     |
|-----------------------------|---|
| Тип                         | шахтна                                      |
| Продуктивність, т/год       | фуражне зерно – 8т<br>зерно на насіння – 4т |
| Теплова потужність, кВт     | 1600  |
| Вид палива                  | дизельне паливо                             |
| Витрати палива, кг/год      | 125   |
| Маса, кг                    | 20100                                       |

Тому впровадження механічних засобів для теплової обробки зерна, які будуть заощаджувати витрати на паливо, є нашим головним завданням.

### **1.6 Висновки**

Аналіз господарської діяльності дослідного господарства говорить про наступне:

1. Підприємство займається вирощуванням зернових культур.
2. Господарство має достатньо технічних засобів для реалізації теплозберігаючого механізованого процесу при використанні теплового насоса.
3. З метою економії паливно-мастильних матеріалів пропонується впровадження механізму теплової обробки зерна з використанням теплового насоса.

## 2 ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ МЕХАНІЗОВАНОЇ ТЕПЛОВОЇ ОБРОБКИ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

### 2.1 Актуальність теми дипломного проекту

Структура паливно-енергетичного балансу України аналогічна структурі паливного балансу решти світу. Третину всього палива становить вугілля, яке є твердим, і дві третини – нафта і газ, які є вуглеводнями[1]. Україна може забезпечити лише 20% природного газу та 10% нафти з власних ресурсів. З кожним роком виробництво деяких видів палива скорочується, тоді як попит на них зростає.

В таблиці 2.1 наведені загальні дані видобуткового палива в Україні.

Таблиця 2.1 – Видобуток окремих видів палив в Україні

| Рік  | Нафта,<br>млн. тонн | Газ, млрд. м <sup>3</sup> | Вугілля,<br>млн. тонн |
|------|---------------------|---------------------------|-----------------------|
| 2020 | 5,2                 | 28,1                      | 154,8                 |
| 2021 | 4,98                | 21,58                     | 124,9                 |
| 2022 | 4,8                 | 17,5                      | 113,3                 |

Як видно, нафта скоротилася на 30%, газ -на 50%, а вугілля -на 9%. Початкові запаси нафти і газу України становлять 8,418млрд тон умовного палива, з яких 6,4млрд тон – газ, 1,3млрд тон – нафта і 400 млн тон – конденсат. Доведені запаси України становлять 1,4млрд тон нафтового еквівалента, з яких 1,15трлн м<sup>3</sup> газу, 153млн тон нафти та 83млн тон конденсату.

Водночас споживання основних енергоносіїв з 2002 року збільшилося, що, вочевидь, пов'язано зі зростанням виробничих потужностей промислових підприємств [1-4]. Ціни на всі види палива постійно зростають. Ухвалені міжнародними організаціями та урядами програми з охорони довкілля

вимагають від виробників електростанцій, винахідників і вчених розроблення і застосування технічних рішень, спрямованих на підвищення ефективності спалювання палива і зниження викидів продуктів згоряння.

В Україні на кожен долар виробленої продукції витрачається 89 кг умовного палива (т.у.п.). Це в 3-5 разів більше, ніж у розвинених країнах. При цьому залежність від поставок палива з інших країн останніми роками досягла 60%. На жаль, у нашій країні немає ефективної національної програми з розв'язання цієї проблеми в умовах поточної економічної кризи, що поглиблюється. На зниження енергозалежності здебільшого впливають заходи зі скорочення частки паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) у загальному обсязі імпорту та підвищення ефективності їх використання. [3,4]

Згідно з комплексною національною програмою енергозбереження України, енергоресурси з поновлюваних джерел енергії (ВДЕ) становлять загалом 78,2 млн тон умовного палива на рік. З них на біоенергетику припадає 21,2 млн тон/рік (27% від загального обсягу ВДЕ). Біомаса може і повинна стати пріоритетним напрямком розвитку поновлюваних джерел енергії для України, яка через свої географічні умови має помірні вітрові, гідро-і сонячні ресурси, і водночас має добре розвинену сільськогосподарську промисловість, яка продукує велику кількість органічних відходів.

Загалом, енергетичний потенціал ресурсів теплових насосів України оцінюється як еквівалент 21 мільярда кубометрів природного газу. Це відповідає обсягу газу, який нині видобувається в країні. Таким чином, до 2030 року теплові насоси можуть забезпечити близько 40% потреби України в первинній енергії (наразі 220 мільйонів тон умовного палива) як поновлюване джерело енергії.

Це означає, що при збільшенні частки теплових насосів споживання твердого палива, газу та нафти значно знизиться. Така перспектива може бути реалістичною навіть у базовому виробництві.

Наразі теплові насоси використовують у найрізноманітніших галузях, включно з опаленням приміщень і кондиціонуванням повітря, гарячим водопостачанням і термічною обробкою зерна в сільському господарстві.

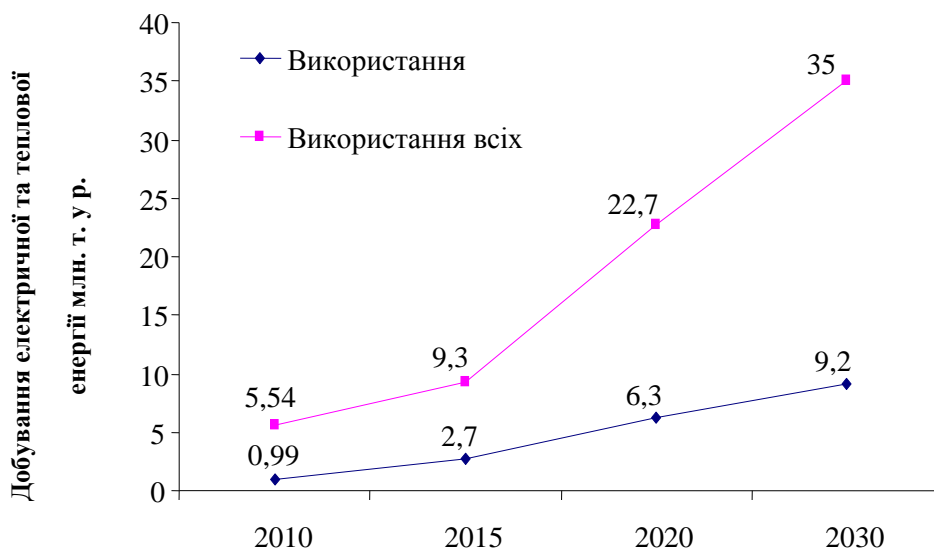


Рисунок 2.1 – Використання (ПДЕ) в 2010-2030 рр. [ ]

## 2.2 Аналіз використання теплонасосних установок

### 2.2.1 Принцип дії теплового насоса

Тепловий насос – це пристрій, який передає тепло від більш холодного теплоносія до більш теплого за допомогою зовнішнього джерела енергії або затрат праці. Теплові насоси використовуються для виробництва тепла в системах централізованого опалення, індивідуального опалення та гарячого водопостачання. Теплові насоси використовуються в системах централізованого опалення та гарячого водопостачання, оскільки вони є більше економічними та безпечними, ніж газові або твердопаливні котли, що робить їх чудовим вибором для забезпечення температур, необхідних для індивідуальних систем опалення та різних процесів.

Принцип роботи і конструкція теплових насосів такі ж, як у холодильників і кондиціонерів, різниця лише в режимі роботи. Холодильники та кондиціонери використовуються для охолодження, а теплові насоси – для обігріву. Крім того, побутові кондиціонери часто функціонують як теплові насоси в режимі опалення завдяки тому, що вони мають таку ж конструкцію, як і теплові насоси.

Принцип роботи ТН заснований на циклі, в якому робоча речовина, "холодоагент", виділяє і поглинає тепло і циклічно переходить з одного стану в інший.

Теплові насоси можна розділити на три типи залежно від типу робочої речовини: парокомпресійні, абсорбційні та термоелектричні.

Парокомпресійні теплові насоси використовують теплоту випаровування і конденсації холодоагенту (зазвичай фреону).

Абсорбційні теплові насоси використовують суміш холодоагенту і рідини з високою температурою кипіння як робочу рідину. На відміну від чистих речовин, розчини мають властивість поглинати пари з одного складу розчину в інший склад рідини, навіть якщо температура рідини вища за температуру пари. Схема абсорбційної установки подібна до схеми установки ідеального стиснення пари, за винятком того, що абсорбційна установка замінює компресор (рис.2.2)

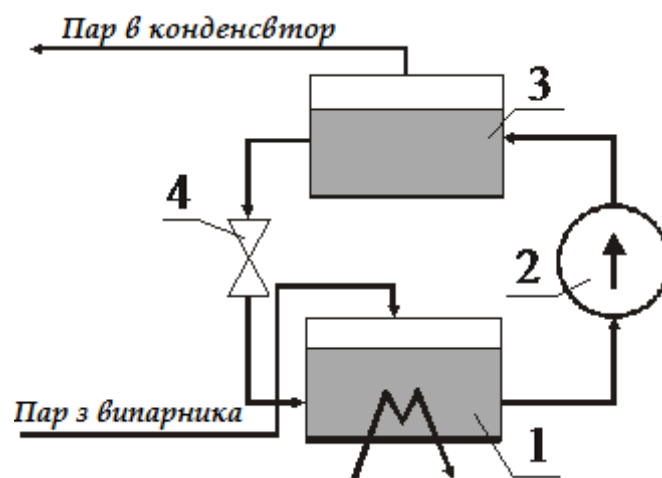


Рисунок 1.2 - Абсорбційний вузол холодильної установки

1 – абсорбер; 2 - насос; 3 - генератор пари; 4 - редукційний вентиль.

Абсорбер використовується для стиснення холодоагенту від тиску на виході з випарника теплонасосного агрегату  $P_2$  до тиску на вході в конденсатор теплонасосного агрегату  $P_1$ . В абсорбер подається суха насичена пара холодоагенту, в який також подається розчин холодоагенту з температурою  $T_1$ . Розчин поглинає холодоагент, а поглинуте тепло відводиться холодним холодоагентом. Концентрація холодоагенту в розчині збільшується в процесі абсорбції, і концентрований розчин виводиться з абсорбера. За допомогою насоса, який підвищує тиск концентрованого розчину з  $P_2$  до  $P_1$ , розчин подають до парогенератора аміаку, і тепло, яке підводять до розчину від зовнішнього джерела, спричиняє його випаровування. За цієї температури парціальний тиск розчинника в паровій фазі нехтуваномалий, тому утворюється пара, яка практично складається з холодоагенту. Розчині з відновленим холодоагентом, що виходить із парогенератора, стискається редукційним клапаном від тиску  $P_1$  до тиску  $P_2$  і надходить в абсорбер, де концентрується холодоагентом. Перевага цього методу стиснення холодоагенту полягає в тому, що для підвищення тиску використовується насос, а не компресор. Витрати роботи на привід насоса малі порівняно з витратами роботи компресора. Збільшення роботи, необхідної для приводу компресора, компенсується втратами тепла в парогенераторі. Це тепловідводиться холодною охолоджувальною водою в абсорбері.

Недоліком абсорбційних насосів є наявність двох теплообмінників (абсорбера і генератора), кожен з яких необхідно постачати холодною і гарячою охолоджувальною водою. Абсорбційні холодильні машини слід застосовувати там, де можна використовувати відпрацьовану пару або інші низькотемпературні холодоагенти.

### 2.2.2 Класифікація теплових насосів

Існують різні класифікації теплових насосів. За агрегатним станом відновлюваного низькотемпературного джерела тепла (НТД) і теплоносія теплові насоси поділяються на: водяні, повітряні, повітряно-водяні, повітряно-повітряні та водяно-повітряні.

За типом використовуваного компресорного обладнання:

- спіральні та поршневі;
- гвинтові компресори;
- турбокомпресори.

За типом використовуваного приводного двигуна:

- з електричним приводом;
- з приводом від теплових двигунів.

За робочою рідиною (холодоагентом), що використовується:

- для низьких температур;
- середньотемпературні;
- високотемпературні.

За ступенем герметизації з'єднання з приводом:

- герметичні;
- без сальника;
- заземлені.

За робочою функцією:

- тепловінасоси тільки для опалення,
- опалення та охолодження;
- інтегровані системи на основі теплових насосів.

Теплові насоси сьогодні допомагають економити паливні ресурси та зменшувати негативний вплив на навколишнє середовище, впроваджуючи механізацію термічної обробки зерна[7-10].

## **2.3 Аналіз технічних рішень механізації теплової обробки зерна**

### **2.3.1 Бункери активного вентилявання**

Вентиляційні бункери є найпоширенішою потоковою технологією в сільськогосподарському виробництві. Це пов'язано з тим, що вони легко вбудовуються в потокові лінії після збирання зерна та зручно комбінуються з іншими елементами, а також із тим, що процес активного вентилявання за використання засобів підлягає повній механізації й автоматизації, забезпечуючи високу ефективність та якість під час обробки насіння. До переваг належать можливість саморозвантаження та повного очищення бункера, виключення ризику важкої фізичної праці та засмічення сортового матеріалу під час заміни вентиляваного зерна, а також універсальність конструкції робочого простору.

Бункер складається з робочої камери(1), повітророзподільного поршня і лебідки (4) для його переміщення, вентилятора з електродвигуном(3), електронагрівача(2), вантажозахоплювального пристрою(5) і пульта управління та регулювання. Робоча камера являє собою кільцевий простір між двома концентрично розташованими перфорованими циліндрами - центральним(8) і зовнішнім (7). Центральний циліндр призначений для подачі та розподілу повітряного потоку до зовнішнього циліндра(7) по висоті установки.

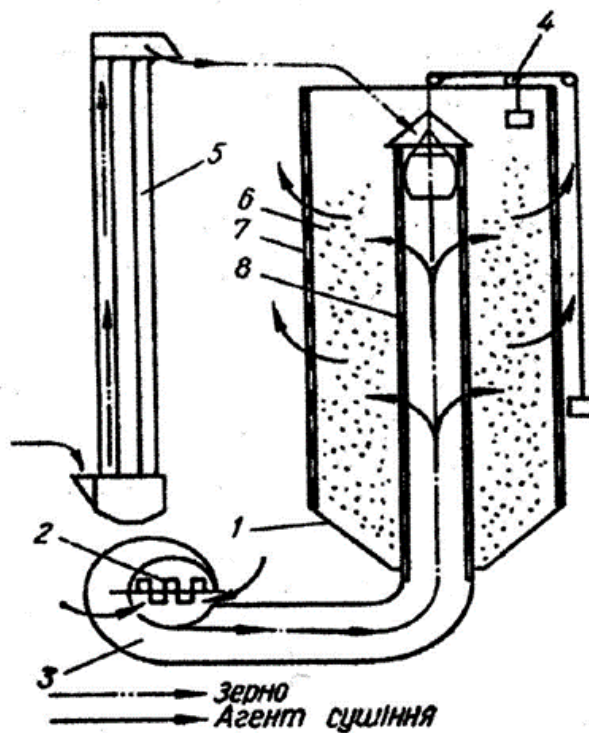


Рисунок 2.3 – Бункер активного вентилявання

1 - робоча камера; 2 - електрокалорифер; 3 - вентилятор; 4 - лебідка; 5 - завантажувальний пристрій; 6 - шар зерна; 7 - зовнішній циліндр; 8 - центральний циліндр.

Циліндр має сітчастий екран зі спрямованими отворами. Овальна форма і злегка похилі краї отвору запобігають засміченню сітки та полегшують її очищення. Внутрішній центральний циліндр має односторонній обід отвору, оскільки поршень має рухатися в середині циліндра. Цей поршень запобігає потраплянню повітря у вільну, незавантажену частину циліндра, коли циліндр частково заповнений. Повітря, що нагнітається вентилятором, надходить у зерно через отвір у внутрішньому циліндрі, проникає в зовнішній циліндр і виходить через отвір у зовнішньому циліндрі. Система має панель управління і може працювати в ручному або автоматичному режимі.

### 2.3.2 Барабанні та шахтні сушарки

Барабанні сушарки здебільшого використовують для сушіння сипучих матеріалів. Більшість із них – атмосферні сушарки, де теплоносієм є нагріте повітря або відпрацьований газ. Схема барабанної сушарки показана на малюнку 2.4.

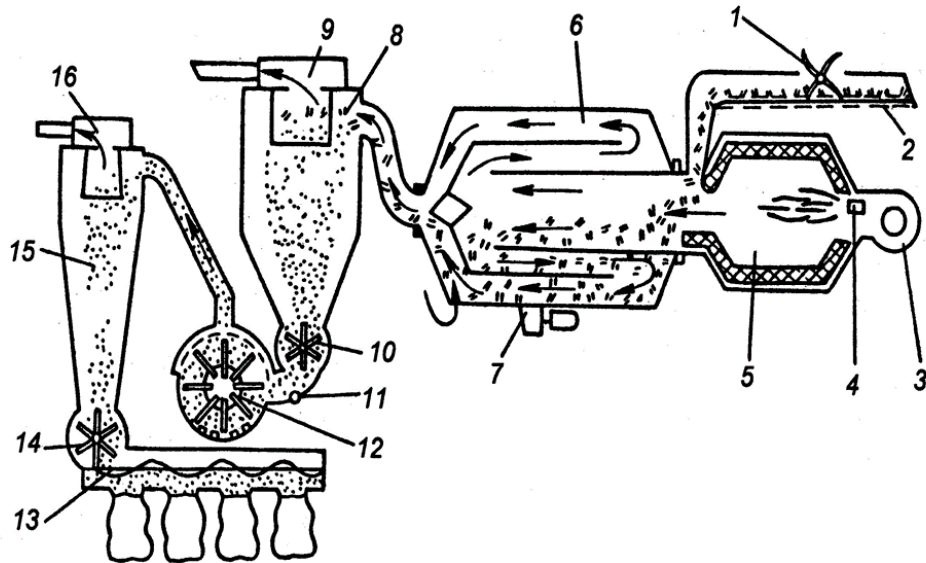


Рисунок 2.4 – Сушильна установка барабанного типу АВМ-0,4

1 - живильник; 2 - подаючий транспортер; 3 - вентилятор; 4 - форсунка; 5 - камера згоряння; 6 - сушильний барабан; 7 - привід барабана; 8 - циклон; 9 - вентилятор циклона; 10 - дозатор; 11 - віддільник домішок; 12 - млин; 13 - вивантажувальний шнек; 14 - затвор трав'яного борошна; 15 - циклон трав'яного борошна; 16 - вентилятор циклона трав'яного борошна.

Основним елементом сушарки є барабан, який обертається на роликах і підтримується своєю стрічкою. Обертання барабана здійснюється за допомогою зубчастої кільцевої передачі, яка входить у зачеплення з шестернею і приводиться в рух електродвигуном через редуктор. Барабан обертається зі швидкістю 1-8 об/хв, а діаметр залежить від продуктивності. Барабан може бути встановлений горизонтально або злегка нахилений у

напрямку руху матеріалу. Для забезпечення широкого контакту між матеріалом і охолоджувальною рідиною барабани оснащені соплами різної форми. Напрямок руху матеріалу та охолоджувальної рідини може бути прямоточним, протитечійним або перехресним.

Сушіння сипучих матеріалів з високим вмістом вологи здійснюється в барабанних сушарках, що використовують димові та відхідні гази котельні.

Вологий матеріал надходить у сушильний барабан і рівномірно розподіляється по його поперечному перерізу за допомогою гвинтових доріжок. Невеликий кут нахилу сушильного барабана і лопаті або хрестовини дозволяють матеріалу переміщатися всередині барабана.

Гарячий теплоносій рухається протипотоку матеріалу чере збарабан і швидко охолоджується під час контакту з матеріалом, але випаровування води відбувається безперервно, і температура матеріалу не перевищує температуру кипіння води за постійного тиску.

Валові сушарки – це системи, які працюють безперервно і використовуються в промисловості для сушіння сипучих матеріалів. У цих сушарках охолоджувальна вода і вологий матеріал рухаються в протилежних напрямках. Принципова схема шахтної сушарки показана на рисунку. 2.5.

Вологий матеріал подається підйомником вологого зерна(7) через розвантажувальний пристрій(2) у шахту сушильної камери(8),(12), яка має центральну перфоровану перегородку. Теплоносій подається знизу з топки (1) і піднімається через завантажувальний короб(11) та вгору через сушильні камери (8),(12), де він зустрічається з вологим матеріалом і висушує його. Висушений матеріал видаляється з нижньої частини сушарки елеватором сухого зерна (6) і спрямовується через виносну градирню(5) у проміжний бункер (4), де відпрацьована охолоджувальна вода відсмоктується зверху вентилятором(10) через вихідний дифузор (9). Цей тип сушарки працює на відпрацьованому газі або гарячому повітрі [7,8].

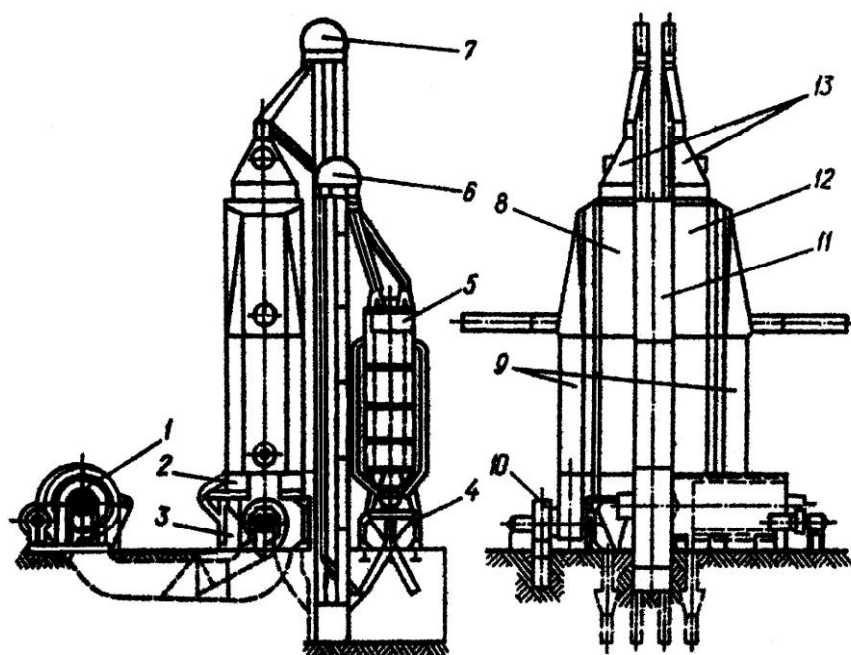


Рисунок 2.5 – Конструктивна схема шахтної сушарки СЗМ-540

1 - топка для рідкого палива; 2 - розвантажувальні пристрої; 3 - станина; 4 - проміжний бункер; 5 - виносна охолоджувальна колонка; 6 - норія для сухого зерна; 7 - норія для вологого зерна; 8 і 12 - шахти сушильної камери; 9 - відвідний дифузор; 10 - вентилятор; 11 - дифузор (подавальні короби); 13 - надсушильний бункер.

### 2.3.3 Сушка з двухстадійним процесом теплового насоса

Сушіння вологих матеріалів є одним із найбільш енергоємних процесів у хімічній промисловості. У різних галузях промисловості на сушіння витрачається від 12 до 70% енергії технологічного циклу. У нашій країні на сушіння твердих речовин витрачається понад 10% палива. При сушінні біологічних продуктів якість кінцевого продукту має першорядне значення, особливо у зв'язку з переходом хімічної промисловості на міжнародні стандарти якості GMP. Однією з технологій, яка дає змогу значно знизити експлуатаційні витрати на процес сушіння та отримати високоякісні продукти, є двоступенева технологія сушіння за атмосферного тиску в псевдозрідженому шарі з використанням теплових насосів.

Температура і відносна вологість вологопоглинача на вході в сушильну камеру варіюються від  $-20^{\circ}\text{C}$  до  $+80^{\circ}\text{C}$  і від 30% до 90% відповідно. Десикантом може бути повітря або інертні гази (наприклад:  $\text{N}_2, \text{CO}$ ).

Завдяки широкому діапазону умов сушіння, машина може виконувати двостадійні процеси, як-от сублімаційне сушіння або термічне сушіння в псевдозрідженому шарі.

Напершому етапі(сублімаційне сушіння) з матеріалу видаляється незв'язана вода. Щадні умови цього процесу забезпечують збереження всіх корисних властивостей і структури матеріалу. Надругому етапі(теплове сушіння) за короткий час з матеріалу видаляється зв'язана вода, що залишилася. У результаті виходить продукт високої якості і значно скорочується час сушіння (див. рис. 2.6.).

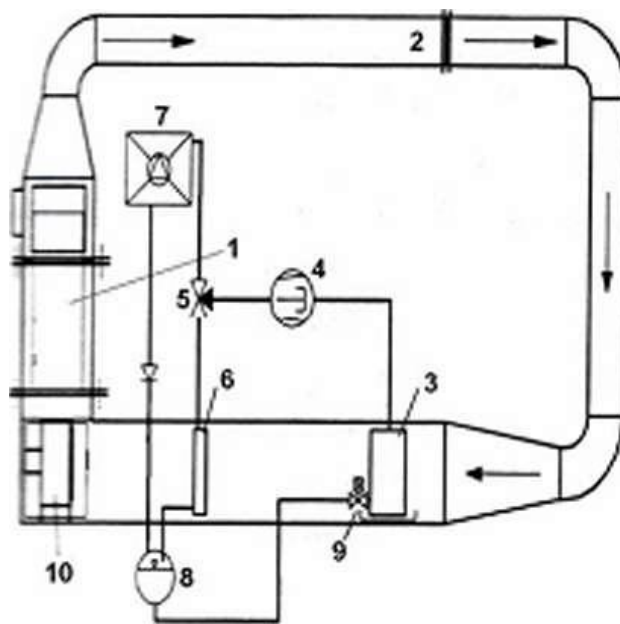


Рисунок 2.6 – Лабораторна псевдозріджена атмосферна сушарка з тепловим насосом

1 - сушильна камера, 2 - циклон, 3 - випарник хладагенту, 4 - компресор, 5 - триходовий клапан, 6 - внутрішній конденсатор холодоагенту, 7 - зовнішній конденсатор холодоагенту, 8 - збірник, 9 - дросельний клапан, 10 – вентилятор.

Тепловий насос у цій системі призначений для рекуперації енергії від використаного вологопоглинач. У процесі сушіння вологий вологопоглинач залишає сушильну камеру(1), очищається в циклоні (2) і подається в цикл теплового насоса. Прихована теплота випаровування вологопоглинач передається холодоагенту теплового насоса у випарнику холодоагенту(3) і повертається до вологопоглинач в конденсатор і холодоагенту(6).

Це висушує вологопоглинач, який потім нагрівається до необхідної температури перед подачею назад у сушильну камеру (1). Це 100% процес рециркуляції. Завдяки рекуперації енергії вологопоглинач в циклі теплового насоса, енергоспоживання процесу може бути знижена на 35-50% порівняно зі звичайним сушінням у псевдозрідженому шарі. Замкнутий цикл вологопоглинач у неможливе забруднення докіль частинками висушуваного матеріалу, а також знижує витрати на очищення вологопоглинач перед його надходженням у сушильну камеру.

## **2.4 Екологічний аналіз використання установки**

Велика зацікавленість до систем теплових насосів викликаний не тільки економічними причинами, а й прагненням скоротити викиди парникових газів, пов'язаних зі спалюванням палива.

У таблиці 2.2 представлені основні характеристики парникових газів.

Системи теплових насосів є одним із небагатьох реалістичних варіантів скорочення викидів парникових газів, оскільки вони не виділяють шкідливих газів під час роботи. З іншого боку, використання нафти, вугілля і газу для виробництва енергії збільшує концентрацію атмосферного CO збільшує концентрацію CO<sub>2</sub> в атмосфері, оскільки при цьому спалюється вуглець, який зберігався протягом багатьох років.

Таблиця 2.2 – Основні характеристики парникових газів

| Парниковий газ  | Основне джерело  | Відсоток концентрації в атмосфері | Щорічний приріст т % | Приріст в атмосфері   | Ефективний час перебування в атмосфері |
|-----------------|--|-----------------------------------|----------------------|-----------------------|--|
| Двоокис вуглецю | виробництво енергії, вирубка лісів, спалювання іншої біомаси   | 360                               | 0,4%                 | близько 7,1 млрд. т/Г | 50-200 років                           |
| Метан           | виробництво природного газу та його транспортування; процес травлення (напр., у худоби); виділення смітєвих газів; | 1,7                               | 0,5%                 | 37 млн. т/Г           | 12,5 років                             |
| Оксид азоту     | в основному від використання добрив і спалювання викопного палива в двигунах внутрішнього згорання                 | 315                               | 0,25%                | 3-8 млн. т/Г 27       | 120 років                              |

## 2.5 Теплоенергетичний аналіз використання теплового насосу

Ціни на паливо та енергоресурси, що постійно зростають, ставлять завдання зниження енергетичних витрат у всіх галузях людської діяльності, включно з сільськогосподарським сектором, де витрати на енергію мають

найбільший вплив на собівартість продукції. Наприклад: у виробництві зерна, вартість однієї тони палива еквівалентна вартості трьох-чотирьох тонн пшениці третього класу. Процес термічної обробки зерна споживає значну кількість палива, причому для приведення зібраного врожаю у відповідність до стандарту витрачається до 0,6 млн тон умовного палива. Тому зниження енергоємності процесів сушіння зерна є загальним науково-технічним завданням.

Оскільки зерно є теплочутливим матеріалом, оптимальний тепловий режим сушіння має бути ретельно продуманий з урахуванням максимально допустимої температури нагріву матеріалу, початкового вмісту вологи та тривалості процесу. Це особливо важливо під час сушіння насіння, оскільки відомо, що навіть низькі температури негативно впливають на енергію проростання.

Відомо, що навіть низькі температури негативно впливають на енергію проростання і швидкість проростання. Насіння із вмістом вологи менше 10 % можна зберігати протягом коротких періодів часу за температури до 120°C. Водночас нагрівання вологого зерна з  $W > 20$  % до 50-55°C призводить до повної втрати схожості. Максимально допустима температура для сушіння насіння не повинна перевищувати 50°C, а за вмісту вологи  $>20$  % - до 45°C.

Тому найпростіший і найпоширеніший метод інтенсифікації сушіння шляхом підвищення температурного режиму не застосовний.

Найпростіший і найпоширеніший метод підвищення рівня температури процесу не застосовний, оскільки короткочасне підвищення температури в робочому режимі сушарки не минуче призведе до зниження продуктивності обладнання.

Високе енергоспоживання процесів конвективного сушіння пов'язане з викидом у навколишнє середовище відпрацьованого вологопоглинача, насиченого парами, тепло якого може бути використано для значного підвищення енергоефективності процесу. У випадку зерносушарок

збільшення початкової ентальпії вологопоглинача за рахунок тепла парів вологопоглинача становить від 2 до 8,4 МДж на годину, тому використання теплових насосів для підвищення енергоефективності зерносушарок має великий потенціал [5-8].

## **2.6 Висновки**

Використання теплових насосів нині вважається найбільш привабливим рішенням. Це пояснюється тим, що порівняно зі спалюванням палива в атмосферу викидається дуже мало забруднювальних газів. Тому використання систем теплових насосів обумовлено не тільки економічними причинами, а й прагненням скоротити викиди парникових газів під час спалювання палива. Така ситуація робить термічну обробку зернових з використанням теплонасосних систем вигідною ще й з екологічної точки зору.

### 3 ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ

#### 3.1 Застосування теплових насосів у процесі сушіння

Типова сушильна установка являє собою конвективну сушарку, в якій попередньо нагріте повітря проходить над поверхнею продукту. Суміш вологи і повітря, відокремлена від продукту, викидається в атмосферу з теплом, що використовується для випаровування вологи. Температура повітря, що виходить, перебуває в діапазоні 30-40°C.

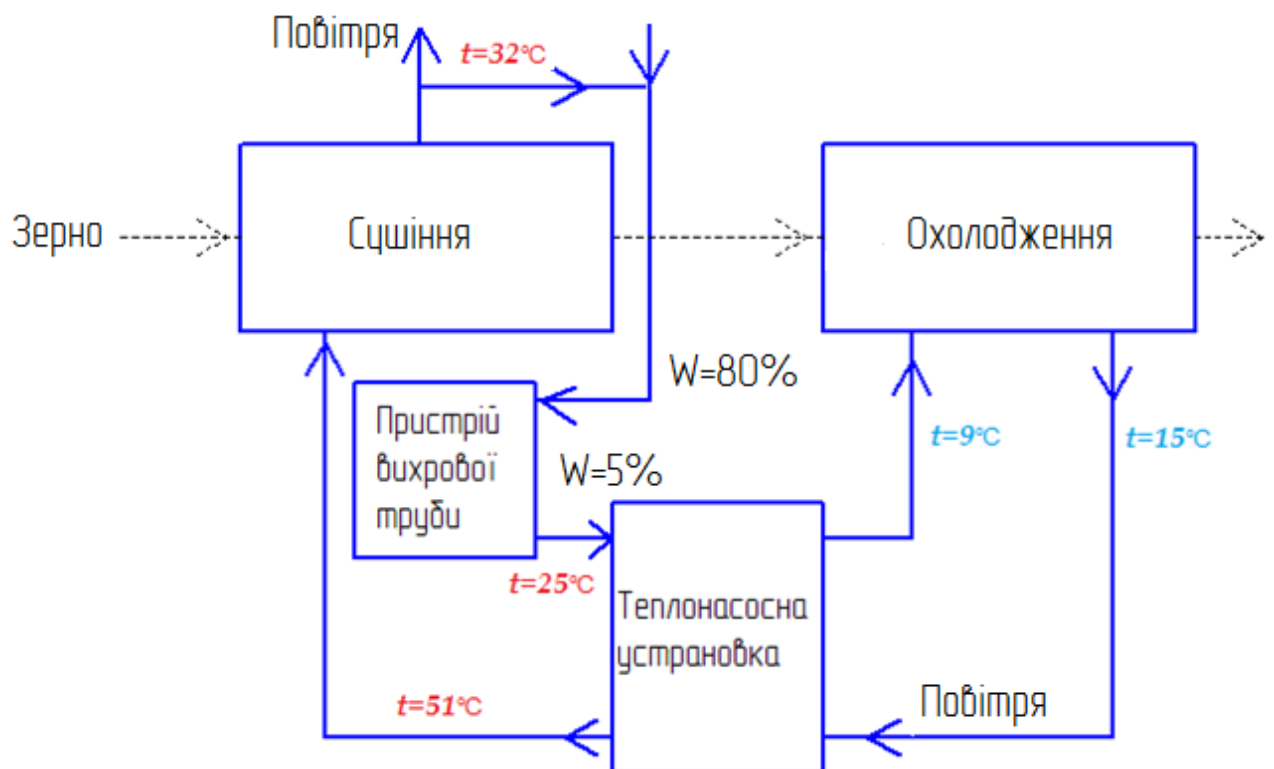


Рисунок 3.1 – Розрахункова схема теплозберігаючого механізованого процесу

W- відносна вологість теплоносія

Найкраще застосування теплових насосів -у процесах сушіння, де як робоче середовище може використовуватися повітря. На малюнку 3.1 показана зерносушарка з використанням теплового насоса. Ця сушарка

складається з двох секцій: сушіння та охолодження. Спочатку зерно нагрівається до  $45^{\circ}\text{C}$  для сушіння, а потім охолоджується до  $15^{\circ}\text{C}$ . Повітря, що надходить, змішується з регенеративним повітрям, осушується й охолоджується у вихрових трубах, а потім спрямовується в теплообмінник, де нагрівається. З теплообмінника повітря надходить у сушарку з боку, протилежного входу зерна. Це повітря проходить через зерновий шар, де воно нагріває зерно передохолодженням в окремому контурі. Сушарка сконструйована як зерноповітряний теплообмінник.

### 3.2 Термодинамічні основи роботи парокompресійного теплового насоса

Для виконання аналізу принципу роботи теплового насоса використовують  $T, S$ - діаграму:

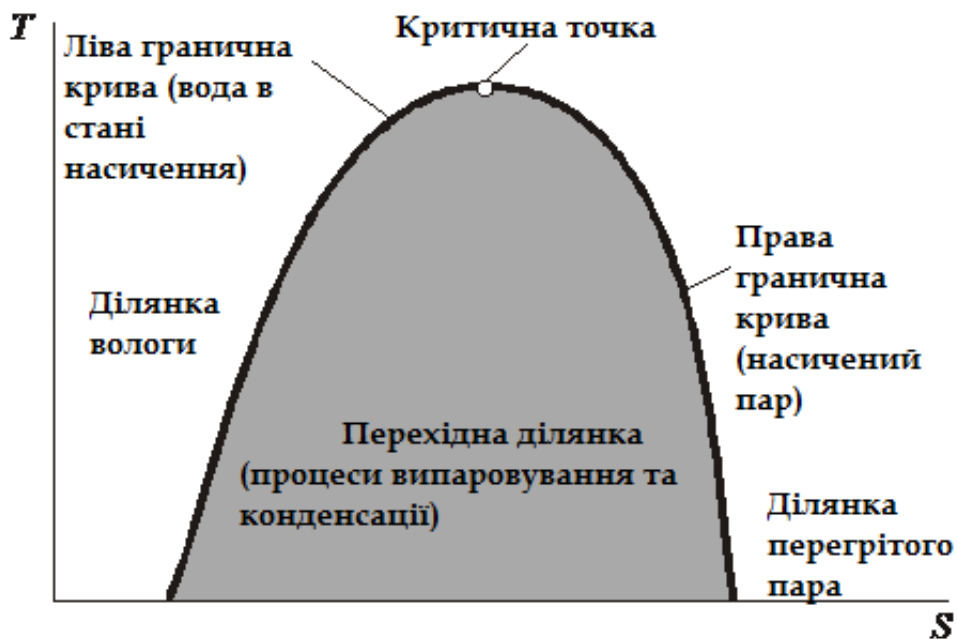


Рисунок 3.2 –  $T, S$ - діаграма

Тепловий насос-це зворотний тепловий двигун. У тепловому двигуні робота виконується шляхом передавання тепла, тоді як у тепловому насосі робота

виконується шляхом передавання тепла у зворотному напрямку. Ілюстрацію ідеального циклу теплового насоса показано на рис. 3.3.

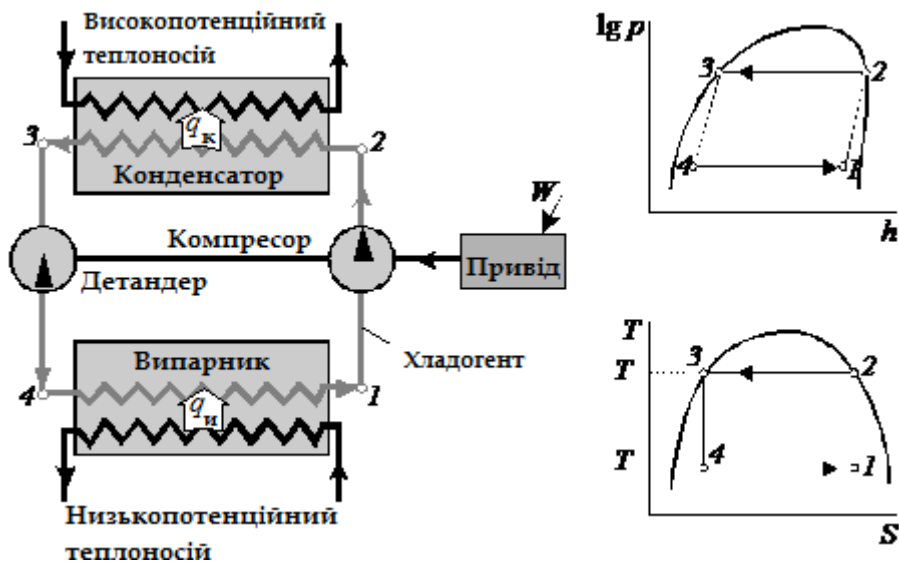


Рисунок 3.3 – Ідеальний теплонасосний зворотний цикл Карно:

$Q_n$  - теплота, що віддається низькопотенційним теплоносієм хладагенту при його випаровуванні;

$q_k$  - теплота, що віддається хладагентом при його конденсації високопотенційному теплоносію;

$l_{сж}$  - робота, необхідна для стиснення холодоагенту;

$W$  - енергія, підведена до приводу;

$T_i$  ( $t_i$ ) і  $T_k$  ( $t_k$ ) - температури випаровування і конденсації.

В ідеальному теплонасосному циклі Карно здійснюються такі процеси:

Процес 1-2 - процес стиснення холодоагенту в компресорі .

Процес 2-3 - конденсація холодоагенту при сталій температурі в конденсаторі і віддача теплоти теплоносію .

Процес 3-4 – оборотний процес, за якого холодоагент розширюється в розширювальному блоці навпроти компресора.

Процес 4-1 - ізотермічне випаровування холодоагенту у випарнику з виділенням тепла з холодного агента.

Теплові насоси стиснення пари (рисунок 3.4) відрізняються від циклу теплового насоса Карно таким чином:

1) замість дорогого детандера використовується дросельний клапан, а процес розширення можна розглядати як необоротний адіабатичний процес. Дросельний клапан – це клапан і з такою геометрією у вигляді регульованого сопла або отвір, або клапан у вигляді нерегульованої капілярної трубки. Використання дроселя замість детандера збільшує втрати, оскільки процес іде неадіабатично, а по лінії постійної ентальпії. Чим більша різниця між температурами випаровування і конденсації, тим більші втрати;

2) технічно стискати можна тільки газу, тому в компресор має надходити пара, що не містить рідких домішок. Стиснення пов'язане з втратами енергії і тому є політропним, а не адіабатичним.

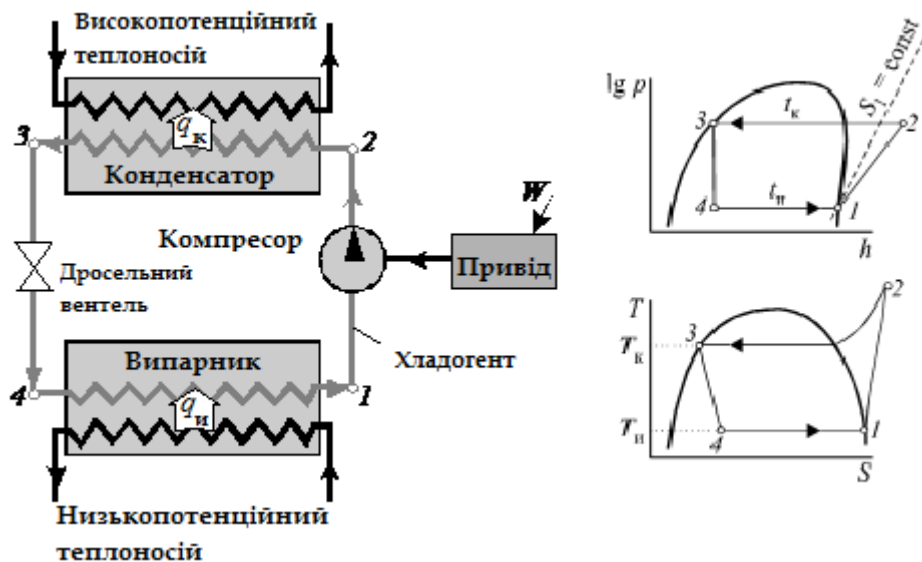


Рисунок 3.4 – Схема і цикл парокомпресійного теплового насоса:

При цьому,  $t_{в1}$ ,  $t_{в2}$ ,  $t_n$ ,  $t_{н2}$  - температури високопотенційного і низькопотенціального теплоносія на вході і виході.

Процес 1-2 - це необоротний політропний процес стиснення парів холодоагенту в компресорі.

Процес 2-3 - ізотермічна конденсація холодоагенту в конденсаторі та передача тепла високопотенційному холодоагенту.

Процес 3-4 - необоротне адіабатичне розширення холодоагенту на дросельному клапані.

Процес 4-1- ізоермічне випаровування холодоагенту у випарнику з відбором тепла від холодного холодоагенту.

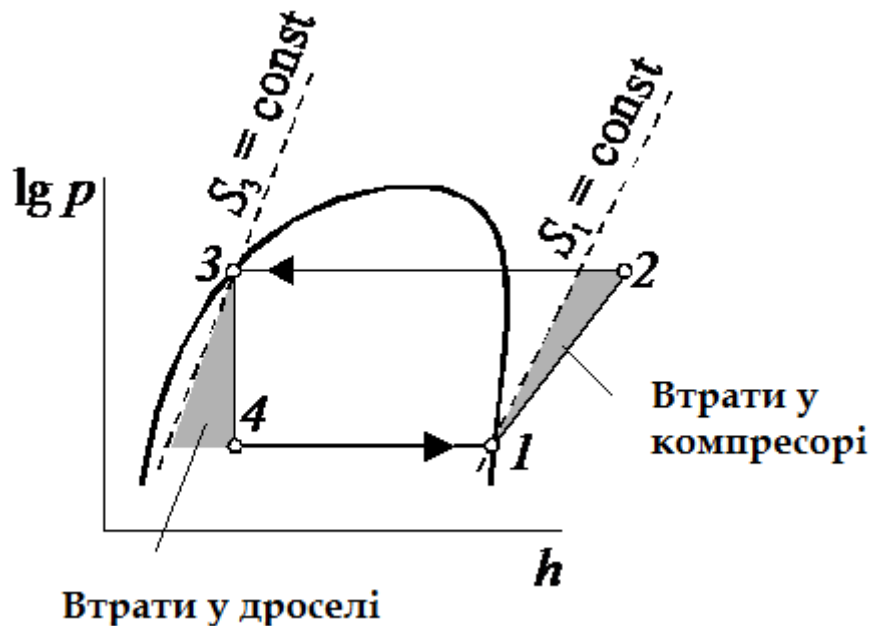


Рисунок 3.5 – Незворотні технологічні втрати в парокompресійних теплових насосах.

У реальному циклі теплового насоса на вхід компресора має подаватися пара, що немістить рідких домішок. Тому пара перед компресором має бути перегрітою, і точка 1 має знаходитися не на лінії насичення, а праворуч від неї. Втрати тиску через тертя в сполучному трубопроводі між конденсатором і дроселем призводять до часткового випаровування фреону. Якщо суміш пари і рідини потрапляє на вхід дроселя, його ефективність знижується. Тому рідина після конденсатора додатково переохолоджується, а третя точка розташовується зліва від лінії насичення, а не на ній. Це зменшує частку пари, що надходить у випарник, і знижує споживання фреону в циклі, що також підвищує продуктивність теплового насоса.

Переохолодження рідини конденсатора вимагає більшої різниці температур між фреоном і гарячою охолоджувальною водою, тому або необхідно знизити температуру гарячої охолоджувальної води (що неможливо через вимоги до одержуваної охолоджувальної води), або

підвищити тиск і температуру конденсації фреону (що є ключовим компонентом теплового насоса, компресора (що значно збільшує вартість)).

Це значно збільшує вартість компресора, що є ключовим компонентом теплового насоса. Перегрів пари у випарнику також не може змінити температуру холодної охолоджувальної води, тому перегрів вимагає зниження температури випаровування, що, своєю чергою, вимагає збільшення ступеня підвищення тиску в компресорі.

Переохолодження рідини та перегрів пари об'єднуються в додатковому проміжному теплообміннику, де гарячий фреон після конденсатора нагріває холодний фреон після випарника (рис.3.6).

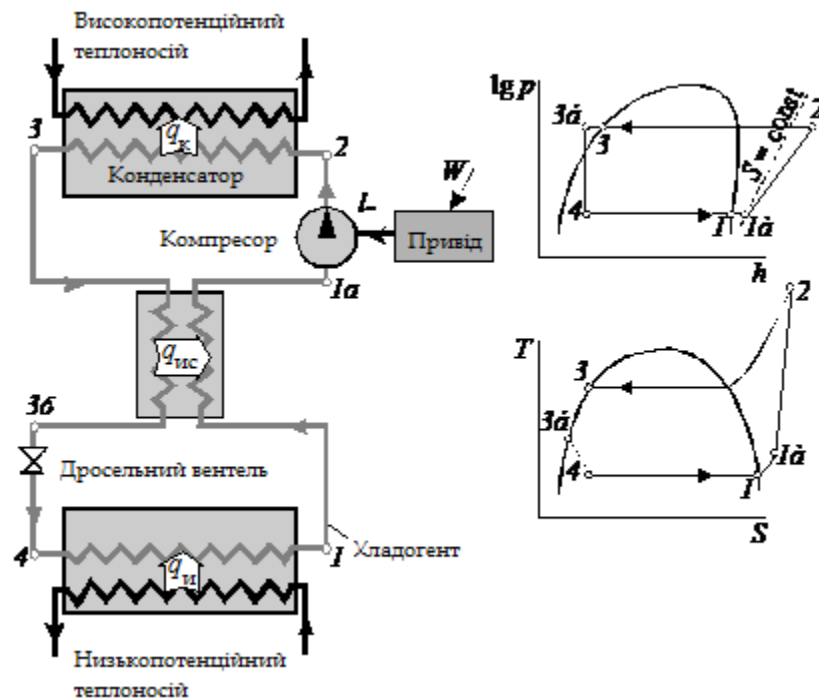


Рисунок 3.6 – Цикл теплового насоса з проміжним теплообмінником

Якщо для живильної води використовується високотемпературний теплоносій, тобто на вході вона набагато холодніша, ніж на виході теплового насоса, рідину можна переохолодити в додатковому теплообміннику - переохолоджувачі, який встановлюють після конденсатора (рис. 3.7).

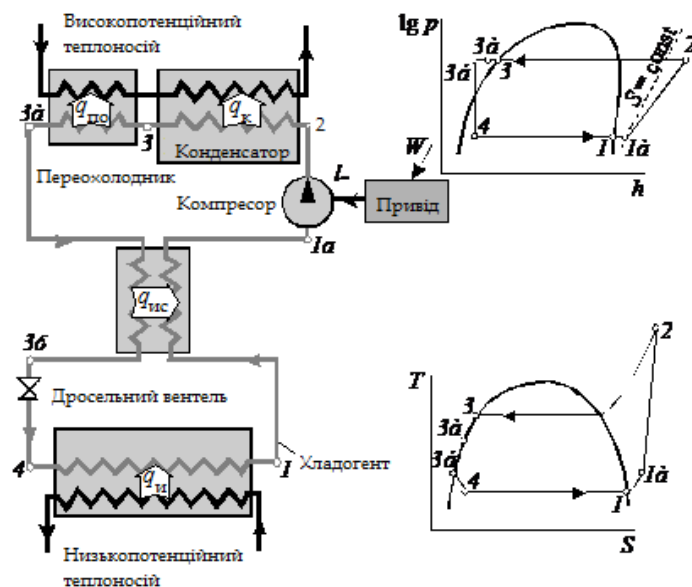


Рисунок 3.7 – Схема і цикл теплового насоса з проміжним теплообмінником і переохолоджувачем.

Теплові насоси малої потужності зазвичай проектуються з випарником і конденсатором, а теплові насоси великої потужності - з проміжним теплообмінником і, можливо, переохолоджувачем.

### 3.3 Розрахунок парокompресійного теплового насоса з регенерацією тепла

1) У випарнику тепло від теплоносія з нижчим потенціалом передається повітря, яке повинно мати нижчу температуру. Температура  $t_{н2}$  і різниця температур  $\Delta t_u$  визначають температуру випаровування повітря:

$$t_u = t_{н2} - \Delta t_u = 25 - 5 = 20^\circ C \quad (3.1)$$

2) За температури випаровування  $t_u$  на правій граничній кривій  $p, h$ -діаграми повітря (або за таблицею термодинамічних властивостей насичених холодоагентів) знаходиться точка 1. Визначаються ентальпія  $h_1$  і тиск випаровування в цій точці  $p_u$ .

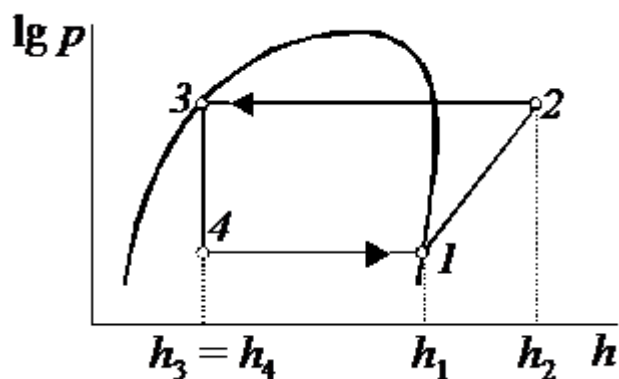


Рисунок 3.8 – Енергетичні потоки у парокompресійному тепловому насосі

3) У конденсаторі тепло передається від більш гарячого повітря до більш холодного. Температура вихідного повітря  $t_{в2}$  і різниця температур  $\Delta t_k$  визначають температуру конденсації повітря:

$$t_k = t_{в2} + \Delta t_k = 51 + 4 = 55^\circ C \quad (3.2)$$

4) Точка 3 знаходиться за температурою конденсації  $t_k$  на правій граничній кривій (або зат аблицею термодинамічних властивостей насиченого холодоагенту). Для цієї точки визначаються ентальпія  $h_3$  і тиск конденсації  $p_k$ . Температура повітря на вході в компресор  $t_1$  визначається властивостями перегрітої пари повітря за температури  $t_1$  і тиску  $p_1$ .

При температурі  $55^\circ C$  та вологості 80% ентальпія становить  $h_1=280$  кДж/кг.

При температурі  $25^\circ C$  та вологості 10% ентальпія становить  $h_4=28$  кДж/кг.

5) Адіабатний коефіцієнт корисної дії компресора  $\eta_a$  дорівнює:

$$\eta_a = \frac{h_{2a} - h_1}{h_2 - h_1}; \quad (3.3)$$

звідси

$$h_2 = h_1 + \frac{h_{2a} - h_{1a}}{\eta_a} = 260 + \frac{280 - 260}{0,98} = 280 \text{ кДж/кг} \quad (3.4)$$

6) Адіабатний коефіцієнт корисної дії компресора може бути розрахований за формулою:

$$\eta_a = 0,98 \frac{273 + t_0}{273 + t_k} = 0,98 \frac{273 + 20}{273 + 55} = 0,88 \quad (3.5)$$

За значенням ентальпії  $h_2$  і тиску  $p_k$  визначається точка 2.

7) За значенням ентальпії  $h_3 = h_4$  і тиску  $p_u$  визначається точка 4.

8) Розраховуються питомі теплові навантаження у вузлах теплового насоса:

$$q_u = h_1 - h_4 = 260 - 133 = 127 \text{ кДж/кг} \quad (3.6)$$

$$q_k = h_2 - h_3 = 386 - 133 = 253 \text{ кДж/кг} \quad (3.7)$$

$$l_{сж} = h_2 - h_1 = 386 - 260 = 126,5 \text{ кДж/кг} \quad (3.8)$$

9) Правильність розрахунку визначається перевіркою теплового балансу:

$$q_u + l_{сж} = q_k ; \quad (3.9)$$

$$260 - 133 + 386 - 260 = 386 - 133 \text{ кДж/кг} \quad (3.10)$$

10) Питома енергія, споживана електродвигуном  $W$ :

$$W = \frac{l_{сж}}{\eta_{э.м} \eta_э} = \frac{126,5}{0,97 \cdot 0,95} = 136,4 \text{ кДж / кг} \quad (3.11)$$

$$W = 488,8 \text{ Вт/год}$$

11) Визначаються показники енергетичної ефективності теплового насоса:

– коефіцієнт перетворення теплоти:

$$\mu = \frac{q_k}{l_{сж}} = \frac{253}{126,5} = 2 ; \quad (3.12)$$

– коефіцієнт перетворення електроенергії:

$$\mu_э = \eta_{э.м} \eta_э \mu = 0,98 \cdot 0,95 \cdot 2 = 1,86 ; \quad (3.13)$$

– питома витрата первинної енергії:

$$\Pi \Xi = \frac{1}{h_{э,м} h_{э} h_{э,с} h_{пер}} \frac{1}{m} = \frac{1}{0,8 \cdot 0,85 \cdot 0,7 \cdot 0,91 \cdot 2} = 1,15 \quad (3.14)$$

12) Ступінь підвищення тиску в компресорі:

$$\varepsilon = \frac{p_{к}}{p_{и}} = \frac{253}{127} = 1,99 \quad (3.15)$$

13) Виробляється ексергетичний розрахунок схеми:

–ексергія  $e_{н}$ , віддана низькопотенційну теплоносієм в випарнику:

$$e_{н} = \tau_{н} q_{и} = 0,016 \cdot 127 = 2,03 \text{ кДж/кг}; \quad (3.16)$$

де  $\tau_{н}$  - ексергетичної температура низькопотенціального теплоносія (значення ексергетичної температури повинне бути від 0 до 1):

$$\tau_{н} = \frac{T_{ср. н} - (t_0 + 273)}{T_{ср. н}} = \frac{298 - (20 + 273)}{298} = 0,016 \quad (3.17)$$

–середня логарифмічна температура холодного теплоносія:

$$T_{ср. н} = \frac{t_{в2} - t_{вп}}{\ln \frac{t_{в2} + 273}{t_{вп} + 273}} = \frac{12 - 8}{\ln \frac{8 + 237}{12 + 273}} = 298^{\circ} K \quad (3.18)$$

– ексергія  $e_{в}$ , отримана високопотенційним теплоносієм в конденсаторі:

$$e_{в} = \tau_{в} q_{к} = 0,1 \cdot 253 = 25,3 \text{ кДж/кг} \quad (3.19)$$

де  $\tau_{в}$  - ексергетична температура високопотенційного теплоносія:

$$\tau_{в} = \frac{T_{ср. в} - (t_0 + 273)}{T_{ср. в}} = \frac{329 - (20 + 273)}{329} = 0,1; \quad (3.20)$$

– середня логарифмічна температура гарячого теплоносія:

$$T_{ср. в} = \frac{t_{в2} - t_{в1}}{\ln \frac{t_{в2} + 273}{t_{в1} + 273}} = \frac{63 - 7}{\ln \frac{8 + 237}{12 + 273}} = 326^{\circ} K \quad (3.21)$$

–ексергія електроенергії, споживаної електродвигуном:

$$e_3 = W = \frac{l_{сж}}{\eta_{э.м}\eta_э} = \frac{127}{0,98 \cdot 0,95} = 136,4 \text{ кДж / кг}; \quad (3.22)$$

Знаходимо ексергетичний ККД  $\eta_э$ :

$$\eta_э = \frac{e_э}{e_н + e_э} = \frac{25,3}{2,03 + 136,4} = 0,19 \quad (3.23)$$

Наведені вище розрахунки показують, що для ефективної роботи доцільно використовувати теплові насоси, оскільки розрахункове значення коефіцієнта перетворення потужності становить  $\mu_э > 1$ , інакше  $\mu_э \leq 1$ , що еквівалентно споживаній потужності під час використання електронагрівачів.

### **3.4 Розрахунок парокompресійного теплового насоса з регенерацією тепла та переохолодженням**

Для вибору найбільш ефективної схеми необхідно розрахувати ТНУ з регенерацією тепла та переохолодженням та порівняти їх. Режими температур будуть відповідні до умов теплової обробки зерна на насіння.

1) У випарнику теплота від низькопотенційного теплоносія передається повітрю, температура якого повинна бути нижче. По температурі  $t_{н2}$  і температурному перепаді  $\Delta t_н$  визначається температура випаровування повітря:

$$t_u = t_{н2} - \Delta t_н = 25 - 5 = 20^\circ \text{C} \quad (3.24)$$

2) По температурі випаровування  $t_н$  на правій прикордонній кривій  $p, h$ -діаграми повітря (або за таблицями термодинамічних властивостей хладагента в стані насичення) знаходиться точка  $1$ . Для якої визначається ентальпія  $h_1$  і тиск випаровування  $p_н$ .

3) У конденсаторі теплота передається від більш гарячого повітря до холодного повітря. По температурі повітря на виході  $t_{в2}$  і температурному перепаді  $\Delta t_к$  визначається температура конденсації повітря:

$$t_k = t_{e2} + \Delta t_k = 51 + 4 = 55^\circ C \quad (3.25)$$

4) По температурі конденсації  $t_k$  на правій граничній кривій (або за таблицями термодинамічних властивостей хладагента в стані насичення) знаходиться точка 3. Для якої визначається ентальпія  $h_3$  і тиск конденсації  $p_k$ . Температура повітря на вході в компресор  $t_{1a}$  визначається за властивостями перегрітої пари повітря по температурі  $t_{1a}$  і тиску  $p_u$ .

5) При температурі  $55^\circ C$  та вологості 80% ентальпія становить  $h_1=280$  кДж/кг.

При температурі  $25^\circ C$  та вологості 10% ентальпія становить  $h_4=28$  кДж/кг.

Ентальпія гарячого повітря на вході в проміжний теплообмінник  $h_{3б}$ :

$$h_{3б} = h_{3a} - (h_{1a} - h_1) = 132,5 - (260 - 259,5) = 132 \quad (3.26)$$

6) Адіабатний ККД компресора  $\eta_a$  дорівнює:

$$\eta_a = \frac{h_{2a} - h_1}{h_2 - h_1}; \quad (3.27)$$

звідси

$$h_2 = h_{1a} + \frac{h_{2a} - h_{1a}}{\eta_a} = 260 + \frac{280 - 260}{0,98} = 280 \text{ кДж/кг} \quad (3.28)$$

7) Адіабатний ККД компресора може бути розрахований за формулою:

$$\eta_a = 0,98 \frac{273 + t_0}{273 + t_k} = 0,98 \frac{273 + 20}{273 + 55} = 0,88 \quad (3.29)$$

8) За значенням ентальпії  $h_2$  і тиску  $p_k$  визначається точка 2. За значенням ентальпії  $h_3 = h_4$  і тиску  $p_u$  визначається точка 4.

9) Розраховуються питомі теплові навантаження у вузлах теплового насоса:

$$q_u = h_1 - h_4 = 260 - 133 = 127 \text{ кДж/кг} \quad (3.30)$$

$$q_k = h_2 - h_3 = 386 - 133 = 253 \text{ кДж/кг} \quad (3.31)$$

$$l_{сж} = h_2 - h_1 = 386 - 260 = 126,5 \text{ кДж/кг} \quad (3.32)$$

10) Питоме теплове навантаження переохолодника  $q_{по}$ :

$$q_{по} = h_3 - h_{3a} = 133 - 132,5 = 0,5 \text{ кДж/кг} \quad (3.33)$$

11) Питоме теплове навантаження теплового насоса  $q_{тн}$ :

$$q_{тн} = q_k + q_{по} = 253 + 0,5 = 253,5 \text{ кДж/кг} \quad (3.34)$$

12) Правильність розрахунку визначається перевіркою теплового балансу:

$$q_u + l_{сж} = q_k + q_{по}; \quad (3.35)$$

$$127 + 126 = 253 + 0,5. \quad (3.36)$$

13) Питома енергія, споживана електродвигуном  $W$ :

$$W = \frac{l_{сж}}{\eta_{э.м} \eta_{э}} = \frac{126,5}{0,97 \cdot 0,95} = 137,3 \text{ кДж / кг} \quad (3.37)$$

$$W = 494,2 \text{ Вт/год}$$

14) Визначаються показники енергетичної ефективності теплового насоса:

– коефіцієнт перетворення теплоти:

$$\mu = \frac{q_k}{l_{сж}} = \frac{253}{126,5} = 2; \quad (3.38)$$

– коефіцієнт перетворення електроенергії:

$$\mu_{э} = \eta_{э.м} \eta_{э} \mu = 0,98 \cdot 0,95 \cdot 2 = 1,86; \quad (3.39)$$

– питома витрата первинної енергії:

$$\text{ПЭ} = \frac{1}{\eta_{э.м} \eta_{э} \eta_{э.с} \eta_{пер}} \frac{1}{\mu} = \frac{1}{0,8 \cdot 0,85 \cdot 0,7 \cdot 0,91 \cdot 2} = 1,15 \quad (3.40)$$

15) Ступінь підвищення тиску в компресорі:

$$\varepsilon = \frac{p_k}{p_n} = \frac{253}{127} = 1,99 \quad (3.41)$$

16) Виробляється ексергетичний розрахунок схеми:

–ексергія  $e_n$ , віддана низькопотенційну теплоносієм в випарнику:

$$e_n = \tau_n q_u = 0,016 \cdot 127 = 2,03 \text{ кДж/кг}; \quad (3.42)$$

де  $\tau_n$  - ексергетичної температура низькопотенціального теплоносія (значення ексергетичної температури повинне бути від 0 до 1):

$$\tau_n = \frac{T_{\text{ср. н}} - (t_0 + 273)}{T_{\text{ср. н}}} = \frac{298 - (20 + 273)}{298} = 0,016 \quad (3.43)$$

–середня логарифмічна температура холодного теплоносія:

$$T_{\text{ср. н}} = \frac{t_{B2} - t_{B1}}{\ln \frac{t_{B2} + 273}{t_{B1} + 273}} = \frac{12 - 8}{\ln \frac{8 + 237}{12 + 273}} = 298^\circ K \quad (3.44)$$

– ексергія  $e_b$ , отримана високопотенційним теплоносієм в конденсаторі:

$$e_b = \tau_b q_k = 0,1 \cdot 253 = 25,3 \text{ кДж/кг} \quad (3.45)$$

де  $\tau_b$  - ексергетична температура високопотенційного теплоносія:

$$\tau_b = \frac{T_{\text{ср. в}} - (t_0 + 273)}{T_{\text{ср. в}}} = \frac{329 - (20 + 273)}{329} = 0,1 \quad (3.46)$$

– середня логарифмічна температура гарячого теплоносія:

$$T_{\text{ср. в}} = \frac{t_{B2} - t_{B1}}{\ln \frac{t_{B2} + 273}{t_{B1} + 273}} = \frac{63 - 7}{\ln \frac{8 + 237}{12 + 273}} = 326^\circ K \quad (3.47)$$

–ексергія електроенергії, споживаної електродвигуном:

$$e_3 = W = \frac{l_{\text{сж}}}{\eta_{\text{э.м}} \eta_{\text{э}}} = \frac{127}{0,98 \cdot 0,95} = 137,3 \text{ кДж / кг}; \quad (3.48)$$

17) Знаходимо ексергетичний ККД  $\eta_3$ :

$$\eta_3 = \frac{e_6}{e_n + e_3} = \frac{25,3}{2,03 + 137,3} = 0,17 \quad (3.49)$$

Нижче приведена порівняльна таблиця парокompресійних ТНУ з переохолодженням та без.

Таблиця 3.1 – Порівняльна таблиця розрахункових значень ТНУ

| Схема   | Парокompресійна ТНУ з регенерацією тепла | Парокompресійна ТНУ з регенерацією тепла та переохолодженням |
|---|--|--|
| Найменування  |  |  |
| Питоме теплове навантаження теплового насоса $q_{тн}$ | $q_k = q_{тн} = 253 \text{кДж/кг}$       | 253кДж/кг  |
| Питома енергія, яку споживає електродвигун $W$        | 136,4кДж/кг                              | 137,3  |
| Ступінь стиснення в компресорі ?                      | 1,99                                     | 1,99   |
| Коефіцієнт перетворення теплоти $\mu$                 | 2  | 2  |
| Коефіцієнт перетворення електроенергії $\mu_3$        | 1,86                                     | 1,86   |
| Питома витрата первинної енергії ПЭ                   | 1,15кДж                                  | 1,15   |
| Ексергетичний ККД $\eta_3$                            | 0,19                                     | 0,17   |

Наведені вище розрахунки показують, що використання парокompресійних теплоутилізаторів вигідніше, ніж парокompресійних теплоутилізаторів з переохолодженням. Про це свідчать такі показники, як питоме споживання енергії електродвигунами, ефективність ексергії та висока матеріаломісткість, тобто високі ціни.

### 3.5 Вибір теплонасосної установки

Для роботи сушильної установки СЗМ-540 необхідно забезпечити її тепловою потужністю у 800 кВт/год. Таку, досить велику, потужність мають промислові теплонасосні установки.

Випускаються теплонасосні установки тепловою потужністю 810 кВт, до складу якої входять три паралельно працюючі теплонасосні модулі на базі насосів марки НКТ-270. Ця теплонасосна установка розроблена та виготовлена в 2010 році на замовлення Національного гірничого Університету освіти і науки України та ВАТ «Павлоградвугілля». Дана установка по показникам не поступається закордонним аналогам та має досить низьку ціну у порівнянні з ними. Виробник цієї системи теплового насоса стверджує, що вона забезпечує 3-4кВт/год теплової енергії на кожен 1кВт/год спожитої електроенергії, чого неможна досягти за допомогою електричних нагрівачів, які віддають теплову енергію через опір.

Таблиця 3.2 – Технічні характеристики теплонасосної установки

| Показник                                  | Значення |
|---|----------|
| Теплопродуктивність установки, <i>кВт</i> | 810      |
| Максимальна температура повітря, °С       | 55       |
| Споживання електроенергії, <i>кВт-год</i> | 270      |

|                                    |   |
|------------------------------------|---|
| Кількість теплових насосів НКТ-270 | 3 |
|------------------------------------|---|

У зв'язку з тим, що використовується процес регенерації тепла повітря відібраного від використаного теплоносія, який має досить високу волого (80%), необхідно забезпечити осушування повітря за рахунок пристрою вихрової труби.

### 3.6 Розрахунок пристрою вихрової труби

#### 3.6.1 Розрахунок продуктивності пристрою вихрової труби

Вологість стисненого газу, що подається в вихрову трубу, знижує температурний ефект внаслідок того, що частина холоду, що виробляється у вихровій трубі, витрачається на конденсацію або виморожування вологи та інших домішок. При розрахунку вихрового ефекту в цьому випадку необхідно вносити поправку на вологість. Ця поправка буде тим більше, чим більше вологість повітря, яке подається в трубу.

Максимально можливе значення поправки визначається з умови повного вимерзання всієї кількості вологи, внесеної з стисненим повітрям у вихрову трубу. У реальних умовах поправка буде меншою, так як конденсується не вся волога, а її частина; інша частина відводиться з гарячим потоком.

Для того, щоб знизити вміст вологи у суміші регенованого повітря та забраного з навколишнього середовища з 80% до 5% необхідно розрахувати кількість потрібного холоду для конденсації одного кілограма цієї вологи.

Кількість холоду, яка буде потрібна на конденсацію одного кілограма вологи, може бути прийнята рівним сумарній теплоті пароутворення води та плавлення льоду:

$$\sum r = r_k + r_t = 2500 + 335 = 2835 \text{кДж} / \text{кг} \quad (3.50)$$

де  $r_k = 2500$  кДж / кг (600 ккал / кг) - теплота пароутворення води;  $r_t = 335$  кДж / кг (80 ккал / кг) - теплота плавлення льоду.

При вихідному вмісті вологи в повітрі  $n$ , г/м<sup>3</sup>, при  $p = 0,1$  МПа (1 кгс/см<sup>2</sup>) та  $t_{oc}$ , витраті повітря  $G$ , м<sup>3</sup>/год, і тиску  $p_c$ , МПа, можна визначити, яка кількість залишкової вологи вноситься стисненим повітрям у вихрову трубу:

$$n' = \frac{nG}{p} = \frac{17,3 \cdot 10^{-3} \cdot 25}{0,1} = 4,3 \text{ кг / год} \quad (3.51)$$

Для конденсації цієї кількості вологи буде потрібно кількість холоду (максимальна), рівна:

$$q' = (r_k + r_t)n' = (2500 + 335) \cdot 4,3 = 12190,5 \text{ кДж / год} \quad (3.52)$$

### 3.6.2 Конструктивний розрахунок параметрів пристрою вихрової труби

Площа прохідного перетину сопла є одним з основних геометричних розмірів, визначених при розрахунку труби.

Вплив граничного шару в прямокутному соплі призводить до зменшення дійсної витрати повітря. Для прямокутних сопел по дослідним даним коефіцієнт витрати  $\Psi = 0,87-0,89$ . З урахуванням коефіцієнта з наступної формули по витраті повітря  $G_c$  визначають площу прямокутного сопла, м<sup>2</sup>:

$$f = \frac{G_c a}{k_c \zeta p_c \Psi} = \frac{17 \cdot 77,8}{1,5 \cdot 2,42 \cdot 130000 \cdot 0,88} = 0,003 \text{ м}^2 \quad (3.53)$$

де  $G_c$  - витрата газу для сушарки СЗШ-8 становить 17 кг/с;  $a$  - критична швидкість, м/с;  $p_c$  - тиск стисненого газу 130 кПа;  $k_c$  - показник адіабати газу становить 1,5;  $\zeta = (2/k + 1) = 2,42$  - відносний тиск при критичній швидкості.

Критична швидкість знаходимо по формулі:

$$a = \sqrt{\frac{2k}{k+1}} R \sqrt{T_c} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1,401}{1,401+1}} \cdot 8,314 \cdot 25 = 77,8 \text{ м/с} \quad (3.54)$$

де  $k$  – показник адиабати повітря, становить 1,401;  $R$  – газова стала, Дж/(кг·°C);  $T_c$  – абсолютна температура газу перед соплом, становить 25 °C.

При відношенні сторін прямокутного сопла  $b$ ,  $h=2b$  висота і ширина сопла (м) визначаються за формулами:

$$b = 0,755\sqrt{f} = 0,755\sqrt{0,003} = 0,04 \text{ м} \quad (3.55)$$

$$h = 1,51\sqrt{f} = 1,51\sqrt{0,003} = 0,08 \text{ м} \quad (3.56)$$

Діаметр вихрової труби визначається через площу сопла на основі оптимального співвідношення.

Діаметр труби в сопловому перерізі, м<sup>2</sup>:

$$D_T = 4\sqrt{bh} = 4\sqrt{0,04 \cdot 0,08} = 0,22 \text{ м} \quad (3.57)$$

Рівняння оптимального діаметра діафрагми:

$$D_D = D_T(0,35 + a\mu) = 0,22(0,35 + 0,32 \cdot 0,8) = 0,13 \text{ м} \quad (3.58)$$

де  $a = 0,32$  – дослідна константа;  $\mu=0,8$  – коефіцієнт, який характеризує режим роботи вихрової труби.

Довжина вихрової короткої неохолоджуваної труби:

$$l = 9D_T = 9 \cdot 0,22 = 1,98 \text{ м} \quad (3.59)$$

Розрахункові параметри пристрою використані при проектуванні .

### 3.7 Висновки

1. В данному розділі було розглянуто термодинамічні основи роботи парокомпресійного теплового насоса.

2. Було розглянуто принципові схеми різних теплонасосних установок та вибрано найбільш доцільну для використання її з установкою СЗМ-540.

3. У зв'язку з тим, що використовується процес регенерації тепла повітря

відібраного від використаного теплоносія, який має досить високу вологу (80%), необхідно забезпечити осушування повітря за рахунок пристрою вихрової труби.

Знайдено та розраховано пристрій вихрової труби для осушування регенерованого повітря (діаметр 0,22м, довжина 1,98 м).

4. З вище наведених розрахунків можна впевнитись, що використання парокompресійної ТНУ з регенерацією тепла більш вигідно, а ніж парокompресійної ТНУ з регенерацією тепла та переохолодженням. Про це свідчать такі показники, як питома енергія яку споживає електродвигун, ексергетичний КПД та більша матеріалоємність, а значить і більша ціна.

## **4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА**

### **4.1 Стан організації охорони праці**

ТОВ "Хлистун" Синельниківського району, село Новоолександрівка, прагне до створення здорових і безпечних умов праці для членів ферми та громадян, які працюють за трудовими договорами, загалом на фермі працює 15 осіб.

Відповідно статей 13 та 15 законодавства України "Про охорону праці", у зв'язку з невеликою чисельністю працівників на фермі "Хлистун" (менше ніж 50 осіб), організацію заходів щодо забезпечення безпечних умов праці покладено на керівника ферми, а безпосередньо функції з охорони праці виконує головний технік ферми, який має відповідну підготовку.

Компанія централізовано забезпечує всіх працівників спецодягом, засобами захисту органів дихання та зору. Перед початком роботи всі проходять інструктаж і розписуються в журналі з техніки безпеки. На території є спеціально відведені зони відпочинку, місця для куріння і санітарні зони, де співробітники можуть перебувати після роботи або під час перерв. У зоні відпочинку є стендовий куточок з охорони праці та техніки безпеки з письмовими зобов'язаннями і правилами, яких повинні дотримуватися співробітники.

Обідня перерва триває дві години, під час якої співробітники харчуються в їдальні. Співробітники, які працюють за межами підприємства (на території), отримують обід під час обідньої перерви.

Наприкінці робочого дня співробітники здають спецодяг, засоби індивідуального захисту та робочий інвентар після реєстрації.

## **4.2 Низка заходів щодо забезпечення безпеки під час експлуатації зерносушильного комплексу.**

Аналіз технічних умов на експлуатацію зерносушильного комплексу і зерносушарок показує, що для забезпечення належного рівня безпеки під час експлуатації цього обладнання необхідні такі заходи з охорони праці

### **4.2.1 Загальні вимоги з охорони праці**

1. До роботи як машиністи (оператори) зерномийних і сушильних комплексів та пересувних зерносушарок допускаються особи, які немолодші за 18 років, пройшли навчання з обслуговування та безпечної експлуатації цих пристроїв, а також попереднє навчання і перевірку знань з охорони праці та мають відповідні посвідчення.

2. Машиністи (оператори) з обслуговування електроустановок, агрегатів і машин повинні мати відповідну кваліфікаційну групу з електробезпеки. До виконання ручних робіт на зернових купках (наприклад, згрібання зерна на завантажувальні транспортери машин, згрібання зернових куп, очищення ям елеваторів, пакування зерна, навантаження транспортних засобів тощо) допускаються тільки особи, які навчені безпечним методам роботи і пройшли інструктаж з охорони праці недопускати сторонніх осіб у робочу зону.

3. Приступати до роботи слід у спецодязі. Спецодяг не повинен мати ушкоджень, елементів, що звисають, пухкості і можливості зачепитися за рухомі або обертові деталі.

4. Якщо під час роботи утворюється велика кількість пилу, необхідно використовувати засоби захисту органів дихання типу "Пелюстка", для захисту органів зору – захисні окуляри ПО-2.

5. Категорично забороняється приступати до роботи в стані сп'яніння, хвороби або втоми від алкоголю, наркотиків або ліків.

6. Забороняється працювати несправними інструментами або обладнанням, використовувати їх не за призначенням, застосовувати сторонні предмети або відпочивати на зерновій купі.

7. Палити дозволяється тільки в спеціально відведених і обладнаних місцях.

#### **4.2.2 Вимоги охорони праці для операторів зерносушильних установок.**

1. Перед пуском зерносушарки переконайтеся, що її пуск не становить небезпеки для оточуючих, і подайте попереджувальний сигнал.

2. Не залишайте без нагляду робоче обладнання зерносушарки

3. Контролюйте температуру зерна, відбираючи проби кожні дві години під час роботи зерносушарки. Якщо зерно нагрівається вище допустимого значення температури, зменшіть температуру охолоджувальної води.

4. Очищайте машини, обладнання, платформи і робочі зони від пилу, зернових відходів і соломи не менше двох разів за зміну. Прибирайте сміття і відходи в спеціально відведене місце, захищене від загоряння.

5. Ремонт зерносушарки повинен проводитися тільки після повної зупинки і охолодження нагрітих частин до температури не вище 45°C

6. Коли працівники перебувають у зерносушарці або нижньому бункері, засувки на вході та виході зерна мають бути надійно закриті. Щоб уникнути випадкового відкриття засувки або увімкнення вентилятора, напускарі електродвигуна і засувці слід встановити попереджувальні знаки "Невідкривати, коли працюють люди" і "Не вмикати, коли працюють люди в сушильній секції".

7. Під час технічного обслуговування зерносушароку сувайте тріщини і вибоки, щоб запобігти втраті робочого повітря

8. Під час відкриття оглядового отвору стійте в межах досяжності. Для відкриття кришки оглядового отвору використовуйте спеціальний гачок.

9. Не вмикайте машину, якщо зняті засоби захисту або якщо несправний контрольний чи вимірювальний пристрій.

#### **4.2.3 Вимоги охорони праці після закінчення роботи**

1. Вимкніть двигуни агрегату в порядку, зворотному їх увімкненню, комбінованим способом.

2. Очистіть робочу зону. Очистіть і покладіть на місце інструменти, обладнання та пристосування, розкласти і зберігати спецодяг і засоби індивідуального захисту

3. Вимити руки та обличчя теплою водою з милом.

4. Під час заступлення на зміну повідомити начальника зміни про технічний стан обладнання та специфіку роботи

5. Повідомити керівника про недоліки в процесі роботи і заходи, вжиті для їх усунення.

### **4.3 Висновок.**

Таким чином, проаналізувавши організацію заходів щодо дотримання вимог безпеки, охорони праці, гігієни та пожежної безпеки при виконанні робіт і технічних операцій у маєтку "Хлистун", і враховуючи, що нещасних випадків на виробництві та професійних захворювань серед працівників маєтку немає, стан до держання вимог законодавства України щодо охорони праці та техніки безпеки у маєтку, можна дійти висновку, що він перебуває на достатньому рівні.

## 5 РОЗРАХУНОК ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ПРОЕКТУ

Структура річних експлуатаційних витрат :

$$B_{екс} = O + A + T + B_{рес} + IB; \quad (5.1)$$

$$B_{екс} = 377395,25 + 16540 + 15000 + 284500 + 64259 = 757694,25 \text{ грн};$$

де  $B_{екс}$  – сума річних експлуатаційних витрат, грн.;

$O$  – витрати, які включають безпосередньо заробітну плату, грн.;

$A$  – сума амортизаційних відрахувань, грн.;

$T$  – відрахування на поточний ремонт і техдогляди становлять 15000 грн.;

$B_{рес}$  – вартість спожитих на протязі року енергоресурсів, грн.

$IB$  – інші витрати (вартість миючих засобів, спецодягу і т.д.), грн.

В свою чергу витрати на оплату праці розраховуються наступним чином:

$$O = C + H = 36828,75 + (36828,75 \cdot 36,4) = 377395,25 \text{ грн}; \quad (5.2)$$

де  $C$  – фонд оплати праці, грн. ( за сезон);

$H$  – нарахування на фонд оплати праці, грн.

До загальної суми нарахувань на фонд оплати праці входять:

- нарахування до пенсійного фонду (33,2 %);
- нарахування до фонду сприяння зайнятості населення (1,6 %);
- нарахування до фонду соціального страхування (1,4 %);
- нарахування до фонду страхування від нещасних випадків (0,2 %).

Таким чином загальна сума нарахувань на Фоп ( $H$ ) складає 36,4 %.

Фонд оплати праці можна розрахувати за формулою:

$$C = N_i \cdot t_{зм} \cdot D_p \cdot C_{год} = 3 \cdot 7 \cdot 25 \cdot 7,15 = 36828,75 \text{ грн};, \quad (5.3)$$

де  $N_i$  – кількість людей, які обслуговують конкретний технічний засіб на виконанні операції, 3 чол.;

$t_{зм}$  – тривалість роботи технічного засобу за добу, 7 год.;

$D_p$  – кількість днів виконання технічним засобом цієї операції на протязі року, 25 днів;

$C_{год}$  – годинна тарифна ставка, яка становить 70,15 грн

Також важливим компонентом річних експлуатаційних витрат є сума амортизаційних відрахувань  $A$ :

$$A = \frac{B \cdot H_A}{100} = \frac{1075100 \cdot 2}{100} = 16540 \text{ грн}; \quad (5.5)$$

де  $B$  – балансова вартість обладнання (сума капіталовкладень), грн. (для базового варіанту  $B^b = 156000$  грн., для проектного  $B^{пр} = 1075100$  грн.);  $H_A$  – норма амортизації,  $H_A = 2\%$ .

Знаходимо вартість спожитих на протязі року енергоресурсів, грн.

Вона визначається за формулою:

$$B_{рес} = B_{пмм} + B_{ел} = 10000 + 283500 = 294500 \quad (5.6)$$

де  $B_{пмм}$  – вартість паливно-мастильних матеріалів, 10000 грн.;  $B_{ел}$  – вартість витраченої електроенергії, за весь період 283500 грн.

Вартість витраченої електроенергії ( $B_{ел}$ ) визначається за формулою:

$$B_{ел} = Z_{ел} \cdot C_{ел} = 47250 \cdot 6 = 283500 \text{ грн}; \quad (5.7)$$

де  $Z_{ел}$  – річні витрати електроенергії, кВт;

$C_{ел}$  – ціна 1 кВт-год. електроенергії, грн.

Вартість інших витрат ( $IB$ ), в звичайних умовах виконання робіт, складає 5 % від загальної суми експлуатаційних витрат. Тому вартість інших витрат можна розрахувати наступним чином:

$$IB = \frac{O + A + T + B_{рес}}{95} \cdot 5 = \frac{377395,25 + 16540 + 827000}{95} \cdot 5 = 64259,75; \quad (5.8)$$

де  $IB$  – вартість додаткових витрат по проекту, грн.

Для визначення терміну окупності додаткових капітальних вкладень по проекту  $T_o$  в роках :

$$T_o = \frac{\Delta K_B}{E_p} = \frac{1075100 - 156000}{1100956 - 757694} = 2,2 \text{ роки} \quad (5.9)$$

Розмір додаткових капітальних вкладень ( $\Delta K_B$ ) визначається як різниця між проектною і базовою вартістю агрегату ( $\Delta K_B = B_m^{\Pi} - B_m^B$ ), грн.

При незмінному обсязі виконання роботи річний економічний ефект можна визначити як суму зменшення річних експлуатаційних витрат при роботі агрегату ( $E_p = B_{екс}^B - B_{екс}^{\Pi}$ ), грн.

Для розрахунку економічної ефективності запропонованого в дипломній роботі проекту, при незмінному обсязі виконання роботи визначаємо показники наведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Економічний ефект впровадження проекту

| Показники  | Базовий  | Проектний |
|--|----------|-----------|
| Вид роботи, що виконується                                       | сушіння  | сушіння   |
| Балансова вартість агрегату, грн.                                | 156000   | 1075100   |
| Річні експлуатаційні витрати – всього, грн.                      | 1100956  | 757694,25 |
| у тому числі:  | 36828,75 | 36828,75  |
| - заробітна плата з нарахуваннями                                |          |           |
| - амортизаційні відрахування                                     | 12400    | 16540     |
| - відрахування на поточний ремонт і техдогляди технічного засобу | 13000    | 15000     |
| - вартість спожитих на протязі року енергоресурсів               | 1100956  | 757694,25 |
| - інші витрати   | 10210    | 64901     |
| Річний економічний ефект, грн.                                   | -        | 343261,75 |
| Термін окупності додаткових капітальних                          | -        | 2,2       |

|                 |  |  |
|-----------------|--|--|
| вкладень, років |  |  |
|-----------------|--|--|

### **5.1 Висновки**

В даному розділі розраховано такі показники ,як річні експлуатаційні витрати, амортизація, витрати на технічн еобслуговування і ремонт, спожита на рік енергія, річна економічна вигода і термін окупності.

Це показує, що, незважаючи на високу ціну установки, вона досить вигідна, оскільки її використання призводить доекономії витрат на паливо. Річний економічний ефект становить 343261,75 грн.

## ВИСНОВКИ

1. Підприємство знаходиться у сприятливих природно-кліматичних умовах.
2. Господарство має достатньо технічних засобів для реалізації теплозберігаючого механізованого процесу при використанні теплового насоса.
3. З метою економії паливно-мастильних матеріалів я пропоную впровадити механізм теплової обробки зерна з використанням теплового насосу.
4. В даний час використання теплових насосів вважається найбільш привабливим рішенням. Оскільки в атмосферу майже не потрапляють забруднюючі гази, порівняно зі спалюванням палива. Тому використання установок з тепловими насосами пов'язано не лише з економічними передумовами, але й з бажанням понизити викиди парникових газів при спалюванні палива. Ця обставина дає екологічну перевагу термічній обробці зерна теплонасосними установками.
5. Було розглянуто термодинамічні основи роботи парокомпресійного теплового насоса.
6. Було розглянуто принципові схеми різних теплонасосних установок та вибрано найбільш доцільну для використання її з установкою СЗШ-8.
7. Знайдено та розраховано пристрій вихрової труби для осушування регенерованого повітря.
8. Проаналізувавши організацію заходів з дотримання вимог техніки безпеки, виробничої гігієни та санітарії, а також пожежної безпеки

під час виконання робіт та технологічних операцій у фермерському господарстві, а також враховуючи відсутність нещасних випадків на виробництві та професійних захворювань серед працівників господарства, можна зробити висновок, що стан дотримання вимог законодавства України щодо забезпечення охорони праці у зазначеному господарстві знаходиться на достатньому рівні.

9. В даному розділі було розраховано такі показники як: річні експлуатаційні витрати, амортизаційні відрахування, відрахування на поточний ремонт і техдогляди технічного засобу, вартість спожитих на протязі року енергоресурсів, річний економічний ефект та строк окупності.

10. Можна зробити висновок, що не дивлячись на велику ціну установки її використання досить вигідне, бо допоможе заощаджувати кошти використані на паливо. Економія становитиме майже дві третіх від базового варіанта.



## ЛІТЕРАТУРА

1. Алексеев Є.П. Моделювання і оптимізація технологічних процесів харчової промисловості. Е.П. Агропромиздат, 2007. 272с.
2. Безродний М.К. Термодинамічна ефективність теплонасосних схем кондиціювання повітря. М.К. Безродний, Т.В. Дранік. Наукові вісті КПІ. 2012. № 6. С. 23 - 28.
3. Васильєв Г.П. Використання низькопотенційної теплової енергії ґрунту в теплонасосних установках. Г. П. Васильєв, Н. В. Шилкин. АВОК. 2003. № 2. С.52-60.
4. Васильєв Г.П. Теплонасосні системи теплозбереження (ТСТ) для споживачів теплової енергії в сільській місцевості // Теплоенергетика. 2007. № 4. С. 24-27.
5. Гомелаурі А.И. Ефективність впровадження теплонасосних установок. А.И. Гомелаури, О.Ш. Везиришвилли. Теплоенергетика. 2006. № 11. С.28 - 30.
6. Данилов В. В. Повышение эффективности системы централизованного теплоснабжения на основе применения технологии тепловых насосов / В. Д. Данилов // Энергосбережение и водоподготовка. – 2000. - № 2. – С. 5-14.
7. Інформаційні матеріали по теплоутилізаційному обладнанню. Харків: ВНИИКондиціонер, 2003. – 55с.
8. Морозюк Т.В. Теорія холодильних машин и теплових насосів. Одеса: Студія «Негоціант», 2006. – 712 с.
9. Промислова теплоенергетика и теплотехніка: Довідник (Серія «Теплоенергетика и теплотехніка»; Кн.4).. Клименко, проф. В.М. Зорина. 2004. – 632 с.
10. Пустовалов Ю. В. Економічні питання розвитку теплонасосних станцій. Теплоенергетика. 2006. № 3. С.24-28.

11. Теплові насоси: Інформаційно-методичний посібник: використання теплових насосів. А.С. Слепокуров, С.А. Слепокуров, А.Л. Костенев. Симферополь: Таврический региональный центр инновационного развития, Южный институт интеллектуальной собственности, 2010. – 57 с.

12. Яндульський О.С. Практичне впровадження теплових насосів та комплексне енергозабезпечення об'єктів соціальної сфери та промислової галузі України / О.С. Яндульський // Енергетика та електрифікація. – 2008. - №2. – С.44 - 46.