

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

**Інститут Навчально-науковий інженерно-технічний інститут  
ім. акад. І.С.Гулого**

**Кафедра** теплоенергетики та холодильної техніки

**«До захисту в ЕК»**

Директор інституту

\_\_\_\_\_ Сергій БЛАЖЕНКО

(підпис)

(ім'я та прізвище)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024 р.

**«До захисту допущено»**

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Валентин ПЕТРЕНКО

(підпис)

(ім'я та прізвище)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА  
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

зі спеціальності \_\_\_\_\_ 144 Теплоенергетика \_\_\_\_\_  
(код та назва спеціальності)

освітньо-професійної програми \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ Теплоенергетика та енергоефективні технології \_\_\_\_\_

на тему: Аналіз варіантів використання різних видів палива для сушки кукурудзи

Виконав: здобувач 2 курсу, групи ТЕ-2-9М

\_\_\_\_\_ Скригун Владислав Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові повністю)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Керівник \_\_\_\_\_ Бойко Володимир Олександрович \_\_\_\_\_

(прізвище, ім'я та по батькові повністю)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Рецензент \_\_\_\_\_

(ім'я та прізвище)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Я, як здобувач Національного університету харчових технологій, розумію і підтримую політику університету з академічної доброчесності. Я не надавав і не одержував недозволеної допомоги під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідні джерела

Здобувач \_\_\_\_\_  
(підпис)

Київ – 2024 р.

# НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Навчально-науковий інженерно-технічний інститут ім.акад.І.С.Гулого

Кафедра теплоенергетики та холодильної техніки

Освітній ступінь магістр

Спеціальність 144 Теплоенергетика

(код і назва)

**Освітньо-професійна програма** Теплоенергетика та енергоефективні технології

## ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТЕХТ

проф. Петренко В.П.

“20” листопада 2023 року

## З А В Д А Н Н Я

### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Скригуна Владислава Олександровича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Аналіз варіантів використання різних видів палива для сушки кукурудзи

керівник роботи: к.т.н., доц. Бойко Володимир Олександрович

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від “20”11.2023 року № 940-кв

2. Строк подання здобувачем роботи 06.02.2024 року

3. Вихідні дані до роботи:

матеріали переддипломної практики

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

Вступ

1. Аналіз досліджень в області сушки кукурудзи

2. Типи сушильних агрегатів та їх характеристики

3. Приклади використання різних видів палива для сушильних агрегатів

Висновки

Список використаної літератури

5. Перелік графічного матеріалу

презентація Power Point (слайди)

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання: 11.11.2023

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз досліджень в області сушки кукурудзи	15.11-21.11.23	Виконано
2	Типи сушильних агрегатів та їх характеристики	22.11-05.12.23	Виконано
3	Приклади використання різних видів палива для сушильних агрегатів	06.12.23-10.01.24	Виконано
4	Оформлення кваліфікаційної роботи	30.12-28.01.24	Виконано
5	Оформлення презентації в середовищі Power Point	29.01-06.02.24	Виконано

**Здобувач**

\_\_\_\_\_ (підпис)

**Владислав СКРИГУН**

(ім'я та прізвище)

**Керівник роботи**

\_\_\_\_\_ (підпис)

**Володимир БОЙКО**

(прізвище та ініціали)

## ЗМІСТ

<b>ІНФОРМАЦІЙНИЙ БЛОК</b>		5
<b>АНОТАЦІЯ</b>		7
<b>ВСТУП</b>		9
1.	<b>АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ В ОБЛАСТІ СУШКИ КУКУРУДЗИ</b>	10
1.1.	Основи сушіння зерна	10
1.2.	Огляд теплової обробки зернових культур	13
1.3.	Особливості сушки кукурудзи	17
2.	<b>ТИПИ СУШИЛЬНИХ АГРЕГАТІВ ТА ЇХ ХАРАКТЕРИСТИКИ</b>	23
2.1.	Камерні зерносушарки	23
2.2.	Шахтні зерносушарки	25
2.3.	Барабанні зерносушарки	29
2.4.	Рециркуляційні зерносушарки	31
2.5.	Особливості сушіння зерна окремих культур	33
3.	<b>ПРИКЛАДИ ВИКОРИСТАННЯ РІЗНИХ ВИДІВ ПАЛИВА ДЛЯ СУШИЛЬНИХ АГРЕГАТІВ</b>	42
3.1.	Використання традиційного палива для сушарок	42
3.2.	Використання біомаси для сушарок	44
3.3.	Застосування відходів кукурудзи в якості палива	53
Висновки		56
Список використаних літератури		57

## **ІНФОРМАЦІЙНИЙ БЛОК**

### **Актуальність дослідження.**

Теплове сушіння зерна, без якого стає проблематичним його тривале зберігання у сховищах різних типів, є однією із головних і найбільш енергоємних технологічних операцій післязбиральної обробки зерна.

Використання біомаси для отримання теплової енергії — це фінансово ефективно, технологічно інноваційно та екологічно вигідно. Спалювання біомаси дає підприємству енергетичну незалежність.

Актуальним є впровадження в процес сушки альтернативних палив, а особливо відходи – качани.

### **Зв'язок дослідження роботи з науковими програмами.**

Робота виконана у відповідності плану НДР кафедри теплоенергетики та холодильної техніки НУХТ на 2024 р.

### **Мета дослідження.**

Підвищення енергоефективності сушарок кукурудзи.

### **Завдання дослідження.**

Визначення можливості використання для сушки кукурудзи власних відходів – початків.

### **Об'єкт дослідження.**

Сушка кукурудзи в початках.

### **Предмет дослідження.**

Ефективність використання різних видів палива для сушки кукурудзи.

### **Практичне значення отриманих результатів.**

Одержані результати можуть бути використанні для реконструкції існуючих сушарок.

### **Особистий внесок магістранта.**

Магістрант:

- здійснив аналітичний огляд літературних публікацій з питань дослідження в області сушки кукурудзи:
- провів розрахунок сушарки з .

### **Публікації.**

За матеріалами магістерського дослідження публікації автора роботи на момент її захисту – відсутні.

### **Структура магістерської роботи.**

Магістерська робота складається із вступу та 3 розділів, висновків. Повний обсяг роботи становить 59 стор. Робота містить 5 таблиць та 5 рисунків.

## **АНОТАЦІЯ**

В даній магістерській кваліфікаційній розглянуто особливість сушіння зернових, в тому числі кукурудзи.

Загострено увагу на особливість застосування різних типів сушарок зернових.

Розглянуто можливість застосування різних видів палива традиційних (природний газ, дизель), а також альтернативне паливо (біомаса та відходи від кукурудзи - качани).

Визначено, що економічно доцільно використовувати біомасу та відходи агропродукції в якості палива для сушки кукурудзи.

**Ключові слова:** сушка, кукурудза, пелети, вологість, паливо

## ANNOTATION

This master's thesis deals with the peculiarities of drying cereals, including corn.

Attention is focused on the peculiarity of using different types of cereal dryers.

The possibility of using various types of traditional fuels (natural gas, diesel), as well as alternative fuels (biomass and corn cob waste) is considered.

It is determined that it is economically feasible to use biomass and agricultural waste as a fuel for corn drying.

**Keywords:** drying, corn, pellets, moisture, fuel

## ВСТУП

Теплове сушіння зерна, без якого стає проблематичним його тривале зберігання у сховищах різних типів, є однією із головних і найбільш енергоємних технологічних операцій післязбиральної обробки зерна. Важливу роль у цьому процесі відіграє обладнання, за допомогою якого він виконується.

Як уникнути залежності від природного газу і водночас ефективно використовувати виробничі відходи підприємства, побічну продукцію як альтернативні джерела енергії?

Використання біомаси для отримання теплової енергії — це фінансово ефективно, технологічно інноваційно та екологічно вигідно. Завдяки короткому періоду відновлення біомаса є поновлюваним джерелом енергії. Для збільшення позитивного впливу на екологію потрібно, щоб біомаса, особливо лісового походження, у процесі її виробництва мала мінімальний або нульовий вплив на навколишнє середовище.

У зв'язку із дефіцитом і дорожнечою газу сьогодні використання біомаси та твердого палива набуває все більшої популярності в Україні. Спалювання біомаси дає підприємству енергетичну незалежність і можливість прорахувати вартість палива на роки вперед, без побоювань впливу політичного фактора.

# 1. АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ В ОБЛАСТІ СУШКИ КУКУРУДЗИ

## 1.1. Основи сушіння зерна

Сушіння - основний технологічний процес, який використовується для стабілізації зерна та насіння. Тільки тоді, коли зі свіжозібраної зернової маси видаляється надлишок води і зерно знаходиться в сухому стані, продукт стає безпечнішим.

Сушіння видаляє будь-яку рідину з матеріалу і збільшує відносний вміст сухої частини.

Відомо, що всі біологічні компоненти в висушеній зерновій масі нежиттєздатні, за винятком шкідників і комах. Підтримання зерна в сухому стані є основним способом збереження високої життєздатності насіння в зернових партіях всіх сільськогосподарських культур і підтримки їстівних якостей зерна протягом тривалого періоду зберігання.

Всі методи сушіння зерна враховують сорбційні та інші властивості зерна. Зерно, що піддається сушінню, є організмом з капілярно-пористою структурою. Насіннева оболонка має капіляри, через які легко проходить водяна пара. З іншого боку, насіннева оболонка і алейроновий шар відносно непроничні для водяної пари, і якщо сушіння проводиться неправильно, видалення водяної пари, накопиченої в ендоспермі, може затриматися, і зерно може набубнявіти. Крім того, зародки містять розчинний білок альбумін, який дуже чутливий до температури: При температурі вище 41-42°C білки зародків, наприклад, пшениці, денатурують, і насіння втрачає здатність до проростання. Хоча білки клейковини чутливі до нагрівання, температура нагріву для нормальної клейковини твердих сортів пшениці, еластичної клейковини твердих сортів пшениці та еластичної клейковини твердих сортів пшениці не повинна перевищувати 50°C, 45°C і 55°C відповідно.

Сушіння - це складний технічний процес тепло- і масообміну, який повинен забезпечити збереження всіх властивостей речовин, що містяться в зерні, а це можливо тільки при дотриманні оптимальних параметрів процесу. Наприклад, під час сушіння термодинамічні та теплофізичні властивості зерна, в тому числі теплоємність і теплопровідність, постійно змінюються. Тому, в залежності від

вологості продукту і його призначення, необхідно суворо дотримуватися рекомендованого режиму сушіння для кожного продукту.

Існує три способи сушіння (зневоднення) зерна: термічний (в тому числі вакуумний), сорбційний (контактний) і механічний (пресування, відцентровий). Термічне сушіння є найбільш поширеним, сорбційне - менш поширеним, а механічне використовується лише в млинових мийках. При термічному сушінні рідина перетворюється на пару, яка споживає теплову енергію. Сорбційне сушіння видаляє воду із зерна як у вигляді пари, так і у вигляді рідини, і цей процес не вимагає використання додаткових джерел енергії.

Серед багатьох термічних методів сушіння, які відрізняються способом передачі тепла зерну, найпоширенішим є конвективне сушіння. Конвективне сушіння ґрунтується на принципі, що тепло передається конвекцією від поглинаючої вологу охолоджуючої води і виділяється в атмосферу. Цей принцип використовується у шахтних, рециркуляційних, барабанних і стрічкових сушарках.

Процес сушіння ґрунтується на здатності випаровувати вологу із зерна, коли тиск водяної пари в зерні вищий, ніж тиск у навколишньому повітрі.

Процес сушіння базується на трьох основних процесах: передача тепла від сушарки до зерна; передача вологи з центрального шару зерна в поверхневий шар; випаровування вологи з поверхні зерна і її дифузія в навколишнє середовище; передача вологи і теплопровідність при наявності градієнта температури і теплового потоку з вологопровідністю.

Закономірності сушіння зерна такі:

1) Чим вища початкова вологість зерна, тим вища швидкість сушіння і менший початковий час. Сире зерно містить механічно зв'язану вологу, яка видаляється в першу чергу. Капілярно зв'язана волога міцно пов'язана з крохмалем і ще міцніше - з білками. Тому процес сушіння зерна в основному обмежується сушінням білкових комплексів;

2) Під час сушіння зерно нагрівається швидше, ніж випаровується вода. Це визначає доцільність використання методу рециркуляції (осадженням) для сушіння зерна;

3) Сушіння можливе лише тоді, коли тиск пари всередині зерна вищий за атмосферний, тобто коли відбувається випаровування. Процес сушіння (випаровування води) припиняється, коли температура поверхні зерна зрівняється з температурою навколишнього середовища в сушильній камері;

4) Збільшується зольність периферії та ядра зерна, оскільки одночасно переходять мінеральні речовини, розчинені у волозі;

5) Якщо вміст органічних легких домішок в насипу перевищує 0,1%, існує ймовірність займання в сушарці.

6) Якщо зерно зберігається в буртах вище 4 м в анаеробних умовах, етиловий спирт накопичується в зерні, якщо воно зберігається в буртах вище 4 м в анаеробних умовах, при швидкому нагріванні етиловий спирт може спричинити загибель ембріонів. З цієї причини зерно слід попередньо провітрювати, щоб видалити спирт;

7) Швидкість сушіння залежить від вологості повітря.

Наприклад, 1 м<sup>3</sup> повітря при 20 °С поглинає 17 г вологи,

30 °С - 31 г; 50 °С - 90 г; 70 °С - 200-250 г; 90 °С - 400 г тощо..

Контактні (кондуктивні) способи сушіння, при яких матеріал, що висушується, контактує з нагрітою поверхнею, менш поширені, оскільки вимагають великої кількості тепла.

При радіаційному сушінні використовується сонячне або інфрачервоне тепло. Прикладом є повітряно-сонячне сушіння, при якому вода випаровується тільки з поверхні зернової маси. У південних регіонах України цей метод досі використовується для сушіння невеликих партій зерна.

Ефективність процесу сушіння залежить від товщини шару зерна, частоти переміщення шару зерна, інтенсивності сонячного випромінювання, сили вітру та характеристик майданчика. Останню слід встановлювати на схилі, орієнтованому на південь. Шар зерна повинен бути перфорований товщиною 10-20 см, бобових 10-15 см і проса 4-5 см.

Переміщення купи починають тоді, коли температура в ній досягне 25-30°С. Це пов'язано з тим, що волога інтенсивно випаровується при нагріванні верхнього шару купи і виникає різниця температур між нагрітим верхнім шаром і більш

холодним нижнім шаром. Гарячий вітер містить більше вологи, але при контакті з холодним зерном його вологоємність зменшується і утворюється конденсаційна волога.

При дотриманні всіх умов і достатній сонячній радіації вологість зерна знижується на 1-3% за добу, якщо вона не перевищує 17-18%. Повітряно-сонячне сушіння неефективне, якщо вологість зерна висока. Цей вид сушіння покращує схожість зерна, післязбиральну зрілість і зменшує кількість мікрофлори та пошкодження зерна шкідниками. Обмеженість використання сонячного сушіння зумовлена необхідністю великих площ для зберігання зерна, його залежністю від погодних факторів і недостатньою механізацією процесу. У більшості випадків вітрове сонячне сушіння використовується для насінництва або для доведення невеликих партій зерна до базисних кондицій.

Молекулярне сушіння зерна здійснюється у вакуумних установках. Тут спочатку створюється вакуум, а різниця тиску між зерном і навколишнім середовищем, що виникає в результаті, змушує вологу підніматися на поверхню і замерзати, яка випаровується, як тільки до зерна підводиться тепло. Овочі та фрукти також можна сушити у такий спосіб. Цей тип сушіння рідко використовується на практиці, оскільки є дуже дорогим.

## **1.2.Огляд теплової обробки зернових культур**

Теплову обробку сировини застосовують у всіх галузях сільського господарства, майже на всіх етапах промисловості та майже на всіх етапах переробки сировини.

Теплову обробку сировини застосовують у всіх галузях сільського господарства, майже на всіх етапах промисловості і майже на всіх етапах переробки сировини, оскільки вона має значний вплив на поживність і смакові якості кінцевого продукту.

Термічна обробка застосовується в усіх галузях сільського господарства, майже на всіх етапах промисловості і майже на всіх етапах переробки сировини, оскільки має значний вплив на поживність і смакові якості кінцевого продукту.

Перед посівом зерно ретельно сепарують і калібрують.

Одночасно їх можна пророщувати. Термічна обробка має наступні ефекти

Збільшує енергію проростання і сприяє проростанню насіння.

Термічна обробка сільськогосподарської продукції характеризується

Характеризується теплофізичними, фізико-хімічними та біохімічними процесами.

Характеризується біохімічними процесами.

Основні методи термічної обробки наступні:

- варка;
- повітряна-теплова обробка;
- обробка інфрачервоним випромінюванням;
- прожарювання;
- волого-теплова обробка під тиском;
- НВЧ-обробка.

У сучасному сільському господарстві застосовують різні методи термічної обробки насіння.

Існує багато різних методів теплової обробки насіння.

Існують навіть такі високотехнологічні методи, як інфрачервона та надвисокочастотна обробка насіння.

Існують навіть такі високотехнологічні методи, як інфрачервона та надвисокочастотна обробка насіння.

Кип'ятіння - один з найпростіших способів термічної обробки сільськогосподарської продукції.

Це один з найпростіших методів. Це хороший варіант для малих і середніх фермерських господарств з обмеженими можливостями. Однак кип'ятіння використовується лише для обробки бобових. До певної міри нейтралізує інгібітори та антипоживні речовини.

Повітряне прогрівання - метод обробки насіння перед посівом.

Це метод післязбирального дозрівання. Він підвищує схожість і прискорює проростання сходів.

Обробка інфрачервоним випромінюванням - це технічний метод, який термічно впливає на сировину. Під час сушіння насіння руйнується, потрапляючи в конструкцію сушарки, що негативно впливає на якість кінцевого продукту.

Негативно позначається на якості продукції. Використання інфрачервоних випромінювачів позбавлене цього недоліку, оскільки відсутній контакт між сировиною та випромінювачем [21].

Обсмажування - ще один простий і економічний спосіб термічної обробки зернових культур. Наприклад, соєві боби обсмажують в різних машинах при різних температурах. Екструзія - метод термічної обробки, відомий фахівцям сільського господарства з середини 20-го століття. Цей метод дозволяє значно підвищити рентабельність тваринництва і птахівництва за рахунок зниження витрат на корми і більш швидкої годівлі худоби і птиці.

Після екструзійної термічної обробки поліпшуються смакові якості корму, наприклад, за рахунок виділення різних ароматичних речовин.

Активність ферментів у перетравленні корму значно підвищується, деякі токсини нейтралізуються, а їх виробники гинуть. Завдяки однорідному складу, екструзія не тільки покращує смак і усуває неприємні запахи, але й збільшує відсоток цукру за рахунок розщеплення полісахаридів [11].

Крохмаль розщеплюється до моносахаридів, білки денатуруються, антипоживні речовини інактивуються, а шкідлива мікрофлора усувається. Таким чином, поживні речовини в кормі стають більш доступними.

Амінокислоти та вітаміни при цьому не страждають, оскільки екструдкування відбувається менш ніж за 30 секунд. За цей короткий час сировина проходить різні стадії обробки, такі як нагрівання, стерилізація, дезінфекція, подрібнення, змішування, часткове (до перших 50%) зневоднення, стабілізація, текстурування та профілювання [16].

Основними процесами при екструзії є температурна обробка сировини під тиском, механічна та хімічна деформація сировини і "вибух" сировини. Екструдовані продукти не розшаровуються і не утворюють пилу під час транспортування. Екструзія використовується у виробництві продуктів харчування (соєвого м'яса, м'ясного фаршу), каш швидкого приготування, інгредієнтів для кондитерської промисловості та сухих сніданків. Екструзія також необхідна для виробництва високоякісної білкової сировини для кормів для тварин. Так, виробляють екструдовану повножирну сою та екструдовану соєву макуху [13].

Екструзія також використовується на фермах, що виробляють комбікорми для молодняку з кукурудзи, пшениці, ячменю та гороху.

Мікрохвильова обробка заснована на використанні електромагнітних полів дуже високої частоти. Цей метод використовується для нагрівання, сушіння, розморожування та стерилізації сільськогосподарської продукції. Завдяки багатьом перевагам цієї технології вона широко використовується на переробних підприємствах.

Мікрохвильова обробка - це передова електрична технологія, яка дозволяє економити енергію, оскільки має наступні переваги в порівнянні зі звичайним температурним нагріванням:

- тепловий вплив на сировину можна швидко вмикати та вимикати порівняно зі звичайним температурним нагріванням;
- ефективність перетворення мікрохвильової енергії в теплову становить 90%;
- продукт можна нагрівати рівномірно;
- процес переробки сировини є екологічно чистим, оскільки відсутні продукти горіння.

Мікрохвильова обробка відбувається надзвичайно швидко. Ця технологія забезпечує збереження всіх поживних речовин, мінералів і вітамінів. Таких показників важко досягти при інших методах термічної обробки. Надвисокі частоти проникають у всю сировину і нагрівають її швидко та рівномірно. Погано проводять електричний струм, сухі та безвологі матеріали не нагріваються, тоді як ті, що містять воду, під час обробки повністю зневоднюються і можуть виділяти велику кількість теплової енергії [14].

Мікрохвильову обробку часто використовують для підготовки насіння. Після такої обробки збільшується швидкість проростання насіння. Крім того, високі температури знижують активність пліснявих грибів та інших антипоживних агентів. У сучасних умовах, коли фермери в усьому світі шукають нові, більш технологічні методи обробки сировини, мікрохвильова обробка, безсумнівно, є однією з найцікавіших і перспективних розробок, і для її більш активного використання необхідні подальші дослідження.

Стадія сушіння є одним з основних етапів теплової обробки багатьох продуктів, в тому числі і кукурудзи. Це пов'язано з основною особливістю - низькими втратами вологи. Сушіння є складним технічним процесом, який повинен не тільки зберегти якість зерна, а й поліпшити деякі його властивості. Тому раціональна конструкція сушарки та вибір способу і режиму сушіння залежать, головним чином, від результатів досліджень характеристик продукту, що сушиться [21, 23]. За хімічним складом зерно кукурудзи виділяється серед зернових кормів високим вмістом вуглеводів, особливо крохмалю (до 70%) і високим вмістом жиру (до 8%). Вміст протеїну коливається в межах 9-10%.

Кукурудза має низький вміст золи, особливо кальцію, який становить лише 0,05%, що в кілька разів нижче, ніж у вівса [23]. Білки в зернах кукурудзи складаються в основному з неповноцінного казеїну та глютеліну. Кукурудзяна олія має низьку температуру плавлення. Вітамінів у кукурудзі відносно мало. Засвоюваність поживних речовин у кукурудзі висока. Органічні речовини (білки, жири та вуглеводи) засвоюються тваринами на 80-90%.

### **1.3. Особливості сушки кукурудзи**

Сушіння - найефективніший спосіб продовжити термін зберігання будь-яких зернових, в тому числі і кукурудзи.

Характерною особливістю зерна кукурудзи є те, що воно містить майже 40% води. З цієї причини його часто консервують для тривалого зберігання. У той же час, правильний процес сушіння зберігає смак і максимізує термін зберігання [21]. Кукурудза є основною культурою для багатьох ареалів в Україні. Незважаючи на те, що кукурудза переробляється в зерносховищах протягом десятиліть, питання належного сушіння залишається актуальним і сьогодні. Фахівці прагнуть досягти необхідного рівня вологості, зберігаючи при цьому якість зерна та заощаджуючи енергію. Методи сушіння кукурудзи варіюються від господарства до господарства. Щоб зберегти отримане зерно без втрат, його сушать партіями. Це значно спрощує процес і дозволяє уникнути пересушування зерна з різним вмістом вологи і навпаки. Особлива увага приділяється попередньому очищенню на барабанних сепараторах [1]. Рівномірне і дбайливе сушіння є запорукою успіху при роботі з

кукурудзою на цьому етапі. Чим вища початкова вологість зерна, тим точнішими мають бути температура і тривалість подачі теплоносія процесу сушіння. Це захищає зерно від пошкодження тканин і розтріскування. Основною характеристикою кукурудзи порівняно з іншими культурами є низька вологовіддача. Інтенсивність водообміну відрізняється у різних сортів кукурудзи, оскільки залежить від розміру, форми, фізичної структури та хімічного складу зерна. Крім того, сезон збирання цієї культури досить тривалий, тому вона зазвичай надходить на елеватор з різною якістю та вологістю [12]. Сушіння кукурудзи принципово відрізняється від сушіння інших зернових культур. Основна складність полягає в тому, що зовнішнє лушпиння кукурудзи особливо щільне [17]. Це уповільнює випаровування води зсередини. Під час росту волога потрапляє в ядро з насіння і розподіляється нерівномірно. Отже, випаровування води під час сушіння також відбувається нерівномірно. Це призводить до розтріскування ядра через нерівномірну усадку [14]. Нижче наведено інформацію щодо температурних режимів сушіння зерна кукурудзи (табл. 1.1). Використовується сушильне обладнання - шахтна сушарка постійного струму. Основна увага приділяється необхідності керованості та передбачуваності процесу сушіння. Наступний розділ присвячений компетенціям, необхідним для фахівців, які займаються сушінням зернової сировини.

**Таблиця 1.1**

**Температурні режими, придатні для сушіння зерна кукурудзи (вітчизняні шахтні сушарки постійного струму)**

Призначення зерна	Вологість, %	Число пропусків в через сушарку	Температура нагріву зерна, °С	Температура агента сушіння, °С		
				одноступінчастий режим	двоступінчастий р-м	
					1 зона	2 зона
Кормове	Не заалежно	-	50	150	130	160
Крохмаль, патока			45	120	130	110
Харчоконцентрати	Менше 19	-	35	60	60	60

У деяких випадках використовують сушіння качанів. Ядро качана містить більше води, але й віддає її швидше. Але оскільки випаровування також відбувається нерівномірно, качани поміщають в сушильну камеру відразу після сушіння. За цей час залишки вологи рівномірно розподіляються між зернами. Охолодження відразу після сушіння призводить до появи тріщин у зерні та погіршення зовнішнього вигляду сировини [2]. Якість сировини також має важливе значення. Великі зерна в качанах віддають вологу дуже повільно. Тому необхідно провести два цикли сушіння, щоб утримати вологість нижче 14%. Інтервал між циклами сушіння повинен становити щонайменше три дні. За цей час залишки вологи рівномірно розподіляються по всьому зерну; після другого циклу сушіння оцінюється якість сировини і приймається рішення про закладку зерна на зберігання або додаткове сушіння [3, 4]. Під час зберігання вологості сировини особливо важливо ретельно стежити за її температурою. Якщо температура піднімається вище 30°C, "дихання" грудок збільшується, але якість не погіршується.

Коли температура піднімається до 40°C, починається ферментація. За таких умов грибки швидко розмножуються і надають зерну солодкого запаху. Потім температура продовжує зростати, і починається процес псування [22]. По-перше, зібраний матеріал повинен бути оброблений протягом чотирьох годин. Важливим є спосіб сушіння. Якщо використовується шахтна сушарка, допускається підвищення температури до 50°C. Барабанні сушарки слід використовувати в режимі 55°C. Максимальна температура для постійного сушіння - 35°C. Більш високі температури не допускаються. Це пояснюється на малюнку нижче. Коли температура піднімається вище 60°C, починається процес окислення олій. Жири містять максимальну кількість вітамінів та інших поживних речовин, які роблять продукт дуже цінним [5, 6]. Такий вид сушіння в прямому сенсі слова є збитковим. Перш за все, необхідно звернутися до досліджень. Тварин годували сировиною, більшу частину якої становила кукурудза. Коли використовували нормально висушене зерно, приріст ваги становив понад 700 г. Коли використовували зерно, висушене при 60°C, приріст ваги становив лише 500 г [7, 8, 9]. Крім того, такий тип сушіння негативно впливає на процес засвоєння корму. Важливо також зазначити,

що сушіння при високих температурах значно збільшує споживання енергії. Іншими словами, наведені вище температурні вимоги є оптимальними. Найвищі температури потрібні для сушіння зернової кукурудзи. При цьому важливо забезпечити сприятливий для насіння ефект. Для цього температуру слід підвищувати поступово і одночасно знижувати ступінь випаровування. Важливо ретельно стежити за станом зерна під час сушіння. Звичайно, такий метод збільшує витрати на сушіння, але якість кінцевого продукту підтримується на високому рівні [10].

Закономірності сушіння зерна такі:

- чим вища початкова вологість зерна, тим вища початкова швидкість сушіння і тим коротший час сушіння. Сире зерно містить механічно зв'язану вологу, яку спочатку видаляють. Капілярно зв'язана волога міцно пов'язана з крохмалем і ще міцніше - з білками. Під час сушіння зерно нагрівається швидше, ніж випаровується вода. Це визначає наявність рециркуляційного (осаджувального) способу сушіння зерна;

- сушіння можливе лише за умови, що тиск пари всередині зерна вищий за атмосферний, тобто за наявності випаровування. Процес сушіння (випаровування води) припиняється, коли температура поверхні зерна зрівняється з температурою навколишнього середовища в сушильній камері.

- розчинені у воді мінеральні речовини рухаються одночасно з рухом води, тому зольність на периферії і в ядрі зерна збільшується;

- якщо вміст органічних легких домішок у вороху перевищує 0,1%, може статися займання;

- якщо зерно перед сушінням зберігається в анаеробних умовах у ворохах висотою понад 4 м, у зерні може накопичуватися етиловий спирт, а швидке нагрівання може вбити зародок. Тому зерно слід попередньо провітрити, щоб видалити спирт.

Основною особливістю сушіння зерна кукурудзи є те, що вона має меншу втрату вологи, ніж інші зернові культури. Інтенсивність водообміну в кукурудзі залежить від розміру, форми, фізичної структури і хімічного складу зерна і тому варіюється від сорту до сорту. Питома поверхня випаровування зерен кукурудзи

вдвічі менша, ніж у зерен пшениці. Щільна лушпиння кукурудзяного зерна перешкоджає процесу випаровування. Волога проникає в зерно переважно через зародок і нерівномірно розподіляється по всіх частинах зерна. Це призводить до нерівномірних внутрішніх напружень під час сушіння, різної усадки тканин і утворення внутрішніх тріщин в ендоспермі в тій мірі, в якій не порушується цілісність зовнішньої оболонки. Початки кукурудзи завжди вологіші за зерно, але під час сушіння випаровують воду інтенсивніше, ніж зерно. Качани кукурудзи зазвичай сушать на стаціонарних стелажах. Коли обгортки зняті, купа качанів наповнена повітряними кишнями, що дозволяє повітрю легко циркулювати. Тому існує багато способів сушіння насінневої кукурудзи в качанах: бункерні сушарки заводського типу, ящики, платформи, під навісами, активна вентиляція, мотики тощо. Після сушіння качани залишають у бункері на деякий час для перерозподілу вологи та вирівнювання загального вмісту вологи.

Висота штабеля кукурудзи повинна бути достатньою для максимальної ефективності тепломасообміну між повітрям і качаном. Для цього використовуються шахтні сушарки типу DSP-32. Це означає, що при сушінні кукурудзи для переробки та зберігання можна підтримувати постійний режим нагріву зерна нижче 50°C і температури охолоджуючої води нижче 130°C і 110°C відповідно. Для насіння кукурудзи з вологістю понад 22% використовується двоступеневий режим сушіння.

Кукурудза є пізньостиглою культурою, її зерно дозріває повільно і накопичує вміст сухої речовини залежно від технології вирощування та біологічних особливостей гібридів. Відомо, що вміст сухої речовини у різних сортів досягає максимуму при вологості 22-35%, після чого зерно може лише фізично випаровувати воду. Однак для цього потрібні певні умови: температура повинна бути не нижче +10°C, а відносна вологість повітря не повинна перевищувати 60%. На це покладаються, коли фермери вирішують затримати збирання кукурудзи і сушать її на стерні. Таким чином, вони не тільки отримують повністю стигле зерно, але й зменшують споживання енергії для сушіння. Цей показник є досить ризикованим і нестабільним, оскільки умови для сушіння зерна кукурудзи не завжди є сприятливими з року в рік. Крім того, необхідно враховувати певні

фактори. По-перше, швидкість сушіння зерна на стерні досить низька і знижується природним чином. При вологості 25-30% середньодобова втрата вологи не перевищує 0,3-0,4%, тому необхідно чекати до 10 днів на кожні 3-4% зниження вологості. Потім, якщо середньодобова температура знизиться до +5... +6°C і відносній вологості повітря до 80-90%, вологовіддача кукурудзи практично припиняється. Залишити таку кукурудзу на стерні в майбутньому означало б втратити значну частину врожаю. По-третє, як тільки гібриди кукурудзи досягли біологічної зрілості і придатні для комбайнового збирання, настає науково обґрунтований час для збирання врожаю.

Період збирання стиглого зерна не повинен перевищувати 15-18 днів. Зі збільшенням терміну втрати значно зростають і перевищують 10%. Значні втрати спричиняються виляганням колосся, обсіпанням колосків, обмолотом, хворобами та шкідниками, а також крадіжками. По-четверте, у разі випадання опадів стиглі качани на рослині поглинають як воду, що капає, так і водяну пару. Наші експерименти показують, що в результаті сорбції вологість зерна збільшується на 1,5-2,5%. Вологе зерно зазнає значних фізіологічних змін. Збільшується інтенсивність дихання і витрачається суха речовина, що призводить до зниження маси 1000 зерен на 8-12%. Вологе зерно швидко уражається хворобами, а його якість погіршується. Розрахунки показують, що строки збирання врожаю значно перевищують науково обґрунтований період після настання біологічної стиглості, визначений для кожного гібрида, що призводить до втрат і низької економічної ефективності. Наприклад, очікування понад 20 днів сухого зерна з вологістю 14% призводить до втрат понад 10%, в результаті чого знижується врожайність з гектара. І навпаки, збирання врожаю з вологістю 25% та витрати, пов'язані з сушінням зерна, призводять до прибутку в 320 гривень з гектара.

## **2. Типи сушильних агрегатів та їх характеристики**

При конвективному сушінні зерно, залежно від типу зерносушарки, перебуває в нерухомому (камерні зерносушарки), малорухомому (шахтні) та падаючому (рециркуляційні) стані. Зерно в нерухомому стані сушать у жалюзійних, лоткових і стелажних сушарках або за допомогою установок активного вентилявання. Як правило, використовують теплоносій з температурою 35 — 40 °С при швидкості висушування 0,5 — 1,5 % його за годину, тобто ці сушарки малопродуктивні. Крім того, зерно у них не завжди рівномірно просихає.

Конвективним способом сушать зерно й насіння всіх культур, а також малосипучі матеріали — лляний ворох, насінники овочевих культур тощо.

### **2.1. Камерні зерносушарки**

Найпростіша двокамерна установка для сушіння складається з припіднятої решітки-основи і тепловентиляційного пристрою, який забезпечує нагрівання і подачу агента сушіння в підрешітний простір. Агент сушіння під тиском проникає крізь решето і проходить потім через зернову масу знизу вгору.

Для сушіння кукурудзи використовують камерні сушарки з поздовжнім (коридорного типу) і поперечним (секційно-блочного типу) розміщенням камер. Залежно від потужності камерні сушарки бувають 12- і 24-камерні відповідно на 2500 і 5000 т кукурудзи за сезон.

Сушарка складається з корпусу й топкового відділення, від якого з обох боків підходять до корпусу цегляні канали, по яких надходить гаряче повітря. Перед надходженням у розподільні коридори топкові гази змішуються (за допомогою всмоктувально-нагнітального вентилятора) із зовнішнім повітрям, а потім подаються в камери. Технологічний процес сушіння починається із завантаження в сушарку матеріалу (качани кукурудзи шаром 2 - 3 м, зерно інших культур — 0,6 — 0,8 м) через верхні завантажувальні вікна.

Камера — це закрите приміщення з люками для завантаження та розвантаження і похилим решітчастим днищем, що не допускає втрат зерна в результаті просипання. Днище оббивають металевими решетами з отворами, які менші за розміри зерна, однак решітчасте днище створює менший опір повітрю, що

надходить в камеру знизу. Щоб насіння було високоякісним, його краще підсушувати в камерних сушарках, забезпечивши однакову товщину шару. Якщо під час сушіння кукурудзи в качанах повітря подають послідовно з камери в камеру, то при сушінні інших культур — паралельно. Сушіння соняшнику вологістю від 20 до 9 % теплоносієм з температурою від 45 до 60 °С при висоті насипу 0,5 - 0,6 та 0,75 - 0,85 м триває відповідно 15 — 16 і 3 — 5 год.

Режими сушіння пшениці та ячменю однакові: при вологості 26 % початкова температура теплоносія 39 °С, шар насипу 0,8 м, тривалість сушіння 17 год, а при вологості 16 % — відповідно 55 °С, 0,8 м та 8 год. Для зерна гороху вологістю 26 % та 16 % для сушіння потрібні температура 33 °С, висота насипу 1 м, тривалість сушіння 24 - 30 год.

Перед початком роботи сушарки торцеві сталеві двері коридорів, через які в камери надходить повітря, щільно зачиняють. Сушильний агент подають по чергово то зверху, то знизу, добиваючись рівномірного висушування шару качанів або зерна висотою відповідно 1,5 - 2,5 м і 60 - 70 см. Після сушіння кукурудзи в качанах її залишають у сушарках на деякий час для перерозподілу вологи.

Недолік камерних сушарок — втрати агента сушіння, нерівномірність висушування: зверху та знизу зерно висушується краще, посередині — гірше.

Рухомий шар зерна сушать в шахтних, барабанних чи рециркуляційних сушарках.

## 2.2. Шахтні зерносушарки

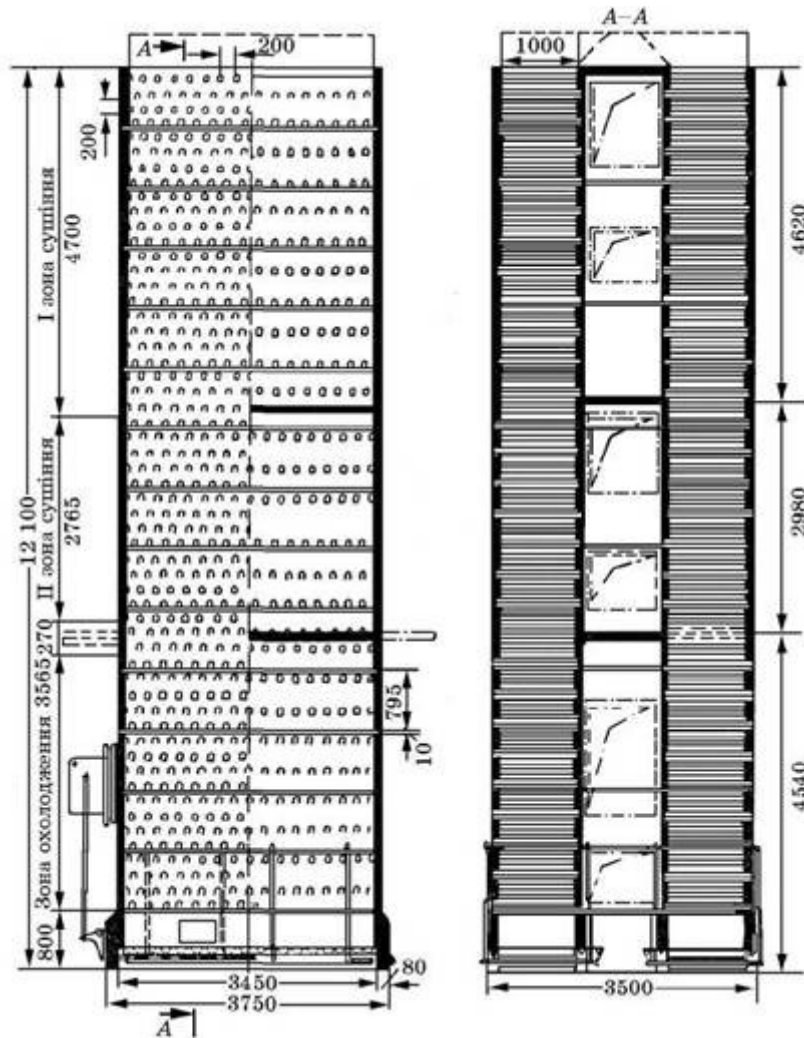


Рис. 2.1. Шахтна зерносушарка

Шахтна зерносушарка (рис. 2.1) складається з однієї або двох прямокутних вертикальних камер - шахт, які заповнюються зерном по всій висоті. Верхня частина шахти - сушильна камера, що складається з однієї або кількох зон сушіння, нижня - камера охолодження. Над шахтами змонтовано бункери, в яких міститься запас зерна.

Для підведення свіжого і відведення відпрацьованого агента сушіння по всій висоті шахти встановлюють металеві коробки, призначення яких — рівномірно розподілити агент сушіння по всій зерновій масі. Кожний короб у поперечному розрізі — це відкритий знизу п'ятикутник завширшки 100 мм, зроблений з листової сталі завтовшки 1,5 — 2 мм. Один кінець короба закритий денцем (стінкою), а другий — відкритий. Короби міцно закріплені в стінках шахти рядами, причому в парних рядах кінці коробів із стінками розташовані у бік розподільної камери

сушильного агента, а відкритою частиною — в бік виходу відпрацьованого агента. У непарних рядах кінці коробів із стінками встановлено інакше — вони відкриті у бік розподільної камери.

Для того, щоб зерно перемішувалося краще, коробки розміщують у шаховій послідовності. Кількість підвідних і відвідних коробів, як правило, однакова. Відстань між коробами для проходження зерна в найвужчому місці не перевищує 90 — 100 мм. Кількість коробів у шахті визначають з урахуванням того, щоб швидкість відпрацьованого агента при виході з відвідних коробів становила в середньому 6 м/с.

Чим вища продуктивність сушарки, тим більшою за висотою і об'ємом має бути шахта. Так, при продуктивності сушарки 2 т/год кількість коробів по вертикалі досягає 55.

Пристрої (механізми), якими регулюється випуск зерна, встановлені під шахтами і називаються випускними, або розвантажувальними. В шахтних зерносушарках застосовують випускні комбіновані пристрої, а також безперервної і періодичної дії.

Зерносушарки ДСП (двоступінчасті) випускають продуктивністю 12, 16, 20, 24, 32 і 50 т/год. На хлібоприймальних пунктах найбільш поширена зерносушарка марки ДСП-32-ОТ.

Зерносушарка — це установка відкритого типу з двоступінчастим режимом сушіння. Вона складається з двох паралельно працюючих шахт заввишки 11 570 мм. Кожна шахта складається з семи секцій і по висоті ділиться на три зони: перша — зона сушіння заввишки 495 мм (верхня частина); друга — зона сушіння заввишки 285 мм (середня частина); третя — зона охолодження (нижня частина). Висота секції 1650 мм. В кожній секції 8 рядів коробів по 16 шт. у кожному.

По висоті шахта має 27 рядів підвідних і 29 рядів відвідних коробів, з яких у першій зоні 24, у другій 14 і в камері охолодження 18.

Технологічна схема роботи зерносушарки ДСП-32-ОТ така. Сире зерно піднімається норією в надсушильний бункер, після чого рівномірно рухається по сушильних шахтах (відповідно в першій і другій зонах сушіння) та шахті

охолодження (зоні охолодження). Випуск зерна з шахт проводиться випускним механізмом періодичної

дії. Сухе охолоджене зерно із зерносушарки спрямовується за допомогою норії сухого зерна в зерносховище.

Агент сушіння з топки вентиляторам подається в нагнітально-розподільні камери першої і другої зон сушіння.

Атмосферне повітря вентилятор подає в нагнітально-розподільну камеру шахти охолодження. В зерносушарці ДСП-32-ОТ застосовується конвективне сушіння, коли теплота подається до зерна від агента сушіння. При цьому агент сушіння виконує роль як теплоносія, так і вологоносія (волога, яка випаровується із зерна, поглинається агентом сушіння і видаляється в повітря).

Зерно в зерносушарці ДСП-32-ОТ підсушується сумішшю опалювальних газів з повітрям, яка подається вентиляторам відповідно по зонах сушіння. Паливо подається в топку через форсунку, в якій утворюється суміш палива і повітря.

Для автоматизації процесів горіння, захисту та аварійної сигналізації на пульті керування є спеціальне обладнання, яке забезпечує запуск зерносушарки, підтримання заданих температур агента сушіння, постійний тиск палива перед форсункою та відновлення факела.

Сушарка СЗШ є складовою частиною зерночисно-сушильних комплексів КЗС-20, КЗС-40. У нових комплексах КЗС-25Ш використовують модернізовану сушарку СЗШ-16А.

Зерно від машини первинного очищення комплексу надходить до норій і піднімається в надсушильні бункери, самопливом заповнюючи шахти сушарки. Норму подавання зерна в шахти регулюють спеціальною заслінкою в приймальній норії.

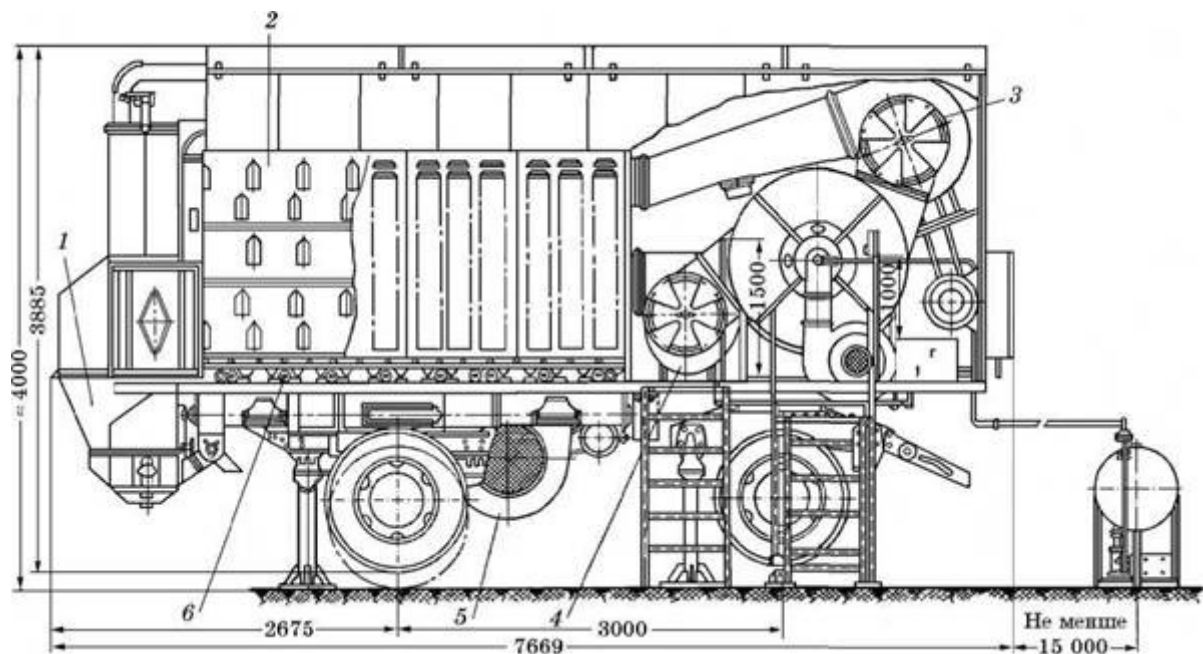
Агент сушіння подається від топки по трубопроводу в напірну камеру між шахтами, а потім через вікна і канали підвідних коробів у зернову масу.

Зерно в шахті переміщується самопливом зверху донизу. Тривалість перебування зерна в шахті регулюється випускним пристроєм. Висушене зерно надходить через розвантажувальне обладнання в підсушувальний бункер, а потім

самопливом у ковші норій, які піднімають його і подають у колонки для охолодження. Зерно охолоджують активним вентиляванням.

При вологості зерна вище 26 % висушити його за один пропуск, навіть при послідовному пропусканні через дві шахти, неможливо. Краще сушити його в сушарках камерного типу або бункерах активного вентилявання.

Пересувна зерносушарка К4-УС2-А (рис. 2.2) з плановою продуктивністю 10 т/год при 6 %-му видаленні води складається із сушильних шахт, транспортного обладнання і топки, які змонтовані на шасі автомобільного причепа МАЗ-8925.



**Рис. 2.2. Пересувна зерносушарка К4-УС2А:**

1 — блок подачі зерна; 2 — шахта сушарки; 3 — 4 — вентилятори подачі теплоносія в шахту; 5 — вентилятор охолодження зерна; 6 — вивантажувальний конвеєр

Сушильна частина зерносушарки має дві шахти з повітророзподільним пристроєм, два Г-подібних конвеєри, два випускних механізми, три шнеки, бункер для сирого зерна та вентилятори із заслінками, зону охолодження.

У кожній шахті є по 6 рядів коробів, які розміщені у двох сушильних та в одній охолоджувальній зонах (по два ряди в кожній зоні). Між шахтами встановлено горизонтальні перегородки, що утворюють три нагнітально-розподільні камери, в які подається агент сушіння від вентиляторів сушильних зон та холодне повітря від вентиляторів зони охолодження.

Агент сушіння й холодне повітря з нагнітально-розподільних камер через вікна на внутрішніх стінках шахт подається в підвідні дрібножалюзні короби і далі, проходячи крізь шар зерна, надходить у суміжні відвідні дрібножалюзні короби та через вікна на зовнішніх стінках шахт відводиться в атмосферу.

Для регулювання температури нагрівання зерна в шахтах насадка випускного механізму зроблена від кожних двох випускних отворів шахт. Сушити зерно можна паралельно, послідовно і методом рециркуляції (при сушінні з високою вологістю). Режими сушіння зерна в шахтних зерносушарках наведено в табл. 2.1.

Таблиця 2.1

### Режим сушіння зерна в шахтних зерносушарках

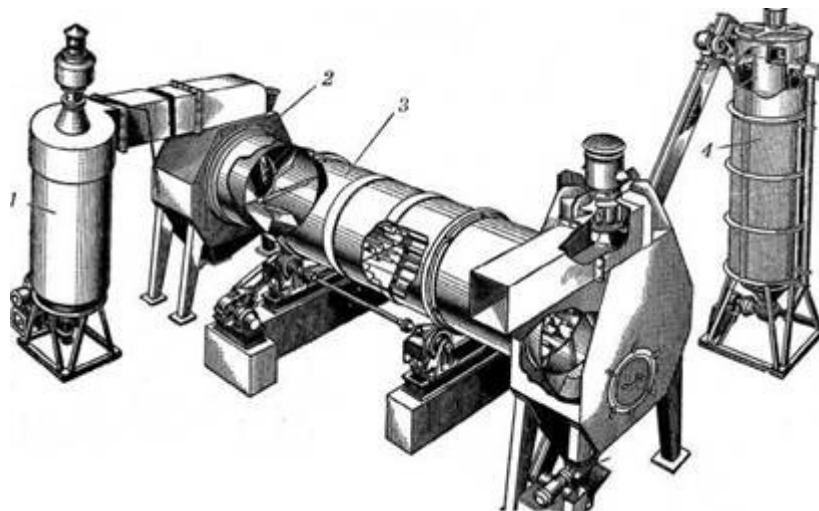
Культура	Початкова вологість зерна, %	Пропуск через сушарку	Гранична температура нагрівання зерна, °С	Гранична температура агента сушіння в сушарці, °С, за режиму		
				одноступінчастого	двоступінчастого	
					I зона	II зона
Пшениця продовольчого призначення з міцною клейковиною (до 40 од. ВДК)  з доброю клейковиною (від 45 до 70 од. ВДК)  із слабкою клейковиною (понад 80 од. ВДК)  Пшениця сильна, тверда та цінних сортів	До 20	Один	45	120	110	130
		Перший	40	90	80	100
	> 20	Другий	45	110	100	120
		Один	50	140	130	150
	> 20	Перший	45	110	100	120
		Другий	50	130	120	140
	До 20	Один	60	150	140	160
		> 20	Перший	55	120	110
	> 20	Другий	60	140	130	150
До 20		Один	50	100	100	110
> 20	Перший	45	90	90	100	
	Другий	50	100	100	110	
Ячмінь для пивоваріння	До 19	Один	45	70	70	80
Жито продовольче	Незалежно від початкової вологості	«	60	150	130	160
Насіння соняшнику	До 15	«	55	120	120	135
	15 – 20	«	55	115	115	130
	> 20	Перший	55	110	110	125
		Другий	55	115	115	130

### 2.3. Барабанні зерносушарки

Зерносушарку стаціонарну барабанну СЗСБ-8 використовують для сушіння зерна різних зернових і олійних культур будь-якого ступеня вологості та засміченості без попереднього очищення. Встановлюють її на масложирових підприємствах для сушіння соняшнику та на токах для сушіння зерна різних

культур.

Зерносушарка СЗСБ-8 (рис. 3.3) складається з топки 1, камери завантаження 2, колонки охолодження 4, розвантажувальної та завантажувальної норій, вентиляторів колонки охолодження та сушильного барабана 3, приводного механізму.



**Рис. 2.3. Загальний вигляд зерносушарки СЗСБ-8**

По перерізу барабан розділений на шість секторів, у кожному з яких закріплено полицки, що захоплюють зерно під час обертання барабана. Рівномірну подачу зерна в барабан забезпечує завантажувальна камера. Пересувається зерно вздовж барабана в момент його пересипання під дією підпору і потоку агента сушіння. З розвантажувальної камери зерно подається в шлюзову заслінку, звідки надходить в охолоджувальну колонку. Тривалість перебування зерна в контакті з агентом сушіння в барабанних сушарках регулювати важче, оскільки температура нагрівання агента сушіння в них 90 — 130 °С для насіння і понад 180 °С для продовольчого та фуражного зерна. Недоліком конструкції сушарок цього типу є те, що зерно, яке надходить в сушарку, контактує з досить нагрітим агентом сушіння.

Барабанні сушарки не можна використовувати для сушіння насіння бобових, рису, кукурудзи, тому що воно травмується — розтріскується.

Режим сушіння продовольчого, фуражного і насінного зерна, а також насіння наведено в табл. 2.3.

**Режим сушіння зерна на сушарці СЗСБ-8  
(температура агента сушіння 200 °С)**

Культура	Початкова вологість зерна, %	Максимальна температура нагрівання, °С	Культура	Початкова вологість зерна, %	Максимальна температура нагрівання, °С
<i>Продовольче і фуражне зерно</i>			<i>Насінне зерно</i>		
Пшениця	До 18	55	Пшениця, жито, ячмінь, овес	До 18	48
	18 – 22	52		До 21	48
	Понад 22	50		До 27	45
Жито, ячмінь	До 18	65	Гречка, просо	Понад 27	42
	18 – 22	62		До 18	40
	Понад 22	60		До 21	38
Овес	До 18	60	Горох, вика, сочевниця, квасоля, люпин	До 27	38
	18 – 22	55		Понад 27	34
	Понад 22	52		До 18	45
Просо	До 18	48	Горох, вика, сочевниця, квасоля, люпин	До 21	45
	18 – 22	40		До 27	43
	Понад 22	38		<i>Насіння олійних культур</i>	
Гречка	До 18	50	Соняшник		55
	18 – 22	48	Ріпак		45
	Понад 22	45			

#### 2.4. Рециркуляційні зерносушарки

При рециркуляційному сушінні фіксована кількість сирого зерна змішується з великою кількістю висушеного зерна, суміш короткочасно нагрівається, а потім охолоджується для рециркуляції основної маси висушеного зерна. Зерно короткочасно (2-3 секунди) нагрівається до 50-60°С в нагрівальній камері при температурі сушарки 250-380°С. [19].

Циркуляційні зерносушарки є найпоширенішими сушарками на хлібоприймальних підприємствах і можуть бути розділені на два типи відповідно до їхньої конструкції та способу нагрівання: циркуляційні зерносушарки з нагрівальною камерою та шахтні сушарки без нагрівальної камери.

Технологічна схема роботи газової рециркуляційної зерносушарки «Цілінна-50» продуктивністю 50 т/год така: вологе зерно надходить в оперативний бункер, де завжди повинен бути запас зерна, щоб запобігти перервам у роботі сушарки. З оперативного бункера зерно спрямовується на норію № 1 продуктивністю 350 т/год,

піднімається вгору і надходить у бункер камери нагрівання, в якій встановлено в шаховому порядку 20 горизонтальних рядів стержнів. Розміщення стержнів сприяє рівномірному розподілу зерна по об'єму камери та інтенсивному його перемішуванню.

Зерно в камеру нагрівання рівномірно надходить з бункера із завантажувальним пристроєм і падає у вигляді дощу в потоці агента сушіння з високою початковою температурою (250 — 380 °С). При цьому за дуже короткий час (2 — 3 с) воно нагрівається до 55 — 60 °С. Із камери нагрівання гаряче зерно потрапляє в бункер тепло- і вологообмінника, де під час його перебування протягом 10 — 12 хв відбуваються вирівнювання температури і частковий перерозподіл вологи між окремими зернами.

Завдяки такому способу рециркуляції агента сушіння зерно піддається багаторазовому повторному нагріванню, внаслідок чого відбувається вирівнювання його температури та вологості.

Досвід експлуатації газово-рециркуляційних зерносушарок показав, що в них можна одночасно сушити до заданих норм без попереднього очищення кілька партій зерна різної вологості (від 17 до 25 — 30 %) із збереженням його насінних якостей.

Важливим фактором забезпечення високоефективної роботи зерносушарок є контроль за дотриманням режимів сушіння, якістю та кількістю висушеного зерна. Режими сушіння зерна насінного призначення передбачають сушіння насіння пшениці, жита, ячменю, вівса, соняшнику, гречки і проса з початковою вологістю до 19 % і максимальним нагріванням їх до 40 °С при температурі агента сушіння до 70 °С. При сушінні насіння гороху, вики, квасолі, люпину та рису гранична температура нагрівання має бути нижчою — для зерна до 35 °С, а для агента сушіння — до 60 °С. Якщо на сушіння надходить насіння вологістю вище 19 %, його треба сушити ступінчастим способом, знижуючи температуру агента сушіння в першій зоні сушіння нижче граничної на 10 °С, а допустиме нагрівання насіння — на 5 °С.

Зерно, призначене для переробки на солод у спиртовому виробництві, сушать, як насінне, із збереженням здатності до проростання.

Залежно від подальшого призначення пшеницю висушують до такої вологості:

для негайної переробки — до 15,5 - 14,5 %; для зберігання 14 — 15; для тривалого зберігання 13 — 14; для кукурудзи — відповідно 14- 16, 13 - 14, 12 - 13 %. Вологість зерна вівса і проса, які відвантажують на круп'яні заводи, що не мають сушарок, повинна бути не вище 13,5 % і не нижче 12,5 %, а гречки — не вище 14,5 % і не нижче 13, 5 %.

При сушінні зерна, призначеного для виробництва крупи, в шахтних сушарках зниження вологості за один пропуск рису і сої не повинно перевищувати 3 %; проса і гречки 2 — 3; гороху і ячменю 3,5 — 4; кукурудзи 4,5 — 5,5, а при сушінні інших культур 6 %. Якщо за один пропуск неможливо висушити зерно до заданої вологості, для його сушіння треба зробити кілька пропусків.

### **2.5.Особливості сушіння зерна окремих культур**

Гречка добре підходить для сушіння завдяки своїм великим пластам. Однак через нерівномірне дозрівання та велику кількість бур'янів зерна гречки часто нагріваються. Тому їх не можна зберігати без миття після збору врожаю. Після миття видаляється значна частина недозрілих зерен гречки, але залишаються деякі важко відокремлювані домішки, схожі за геометричними розмірами і питомою вагою. Тому, крім миття, гречану крупу слід відразу ж просушити.

Найкращим способом сушіння зерна гречки є використання помірних умов шахтної сушарки.

Жито має товсту зовнішню оболонку і випаровування води відбувається повільно. Житнє зерно має високу термостійкість і може нагріватися до 60°C.

Зерна вівса добре сохнуть завдяки великим порожнинам, але їх не слід нагрівати вище 50°C через ризик самозаймання насіннєвих і плодкових оболонок.

Просо має щільну зовнішню оболонку і низьку пористість. Між зовнішнім лушпинням і ядром є повітряні проміжки, які перешкоджають теплопередачі, в результаті чого тепло концентрується на лушпинні і викликає розтріскування. Тому при сушінні дрібних зерен температуру нагрівання слід обмежити до 40°C.

Рисові зерна мають порожнину під перикарпієм, що знижує їхню здатність утримувати вологу. Крім того, низький вміст білка робить їх чутливими до розтріскування, яке можна виявити навіть при дозріванні зерна в полі, тому потрібні більш м'які умови сушіння. При вологості 18% здійснюється однопрохідне сушіння

з температурою охолоджуючої води 65-70°C і нагріванням зерна 40°C або менше, тоді як при вологості близько 20% використовується двоступенева система (температура охолоджуючої води 60°C на першому ступені і 70°C на другому) з нагріванням зерна 35°C і 40°C, відповідно. Ефективність сушарки для сушіння рисового зерна є низькою.

На практиці, в більшості випадків, зерно потрібно залишати на кілька годин (2-3 години) між першим і другим етапами сушіння. Необхідний час залежить від кількості вологи, що випаровується за один раз під час сушіння: 3% - мінімум 4 години; 2% - мінімум 3 години; 1% - максимум 2 години.

Слід зазначити, що у випадку з висушеним рисом вологість зародка на 2-3% нижча і навпаки. Тому рисові зерна слід тримати сухими, щоб уникнути швидкого самонагрівання через інтенсивне дихання.

Порівняно з іншими культурами, бобові мають вищий вміст білка, вони більші, сухіші і щільніші та мають структурно відокремлену оболонку, що призводить до меншої поверхні випаровування і менших втрат води. Все тепло витрачається в першу чергу на нагрівання насіння, а не на випаровування води. При цьому поверхня насінини швидко зневоднюється, в той час як центр насінини залишається вологим. Це призводить до розтріскування насінневої оболонки в системах інтенсивного сушіння.

Для сушіння бобових використовують шахтні сушарки, які можуть видалити 3-4% вологи лише за один прохід, а для більшого насіння (бобові та зернобобові) - 2%. Зернобобові слід сушити в лежачому положенні.

Для сушіння бобових ефективна активна вентиляція (повітря, нагріте до 30°C, питома витрата 400-600 м<sup>3</sup>/т).

Олійні культури мають щільну оболонку і можуть витримувати високі температури при нагріванні. Для сушіння використовують шахтні сушарки, які працюють так само, як і для зернових. Насіння з високим вмістом вологи сушать у кілька проходів з проміжними сушками (6-7 годин), під час яких висушена оболонка поглинає вологу з ядра і легко видаляється під час наступного проходу (у випадку з насінням соняшнику, оскільки високі температури розтріскують оболонку).

Це відбувається тому, що насіння соняшнику має високу пористість (60-80%) і

чинить незначний опір під час аерації та сушіння. З цієї причини стебла соняшнику висихають швидше, ніж інші культури.

Щоб уникнути самозігрівання, насіння соняшнику потрібно сушити до граничної вологості

$$B_k = \frac{B_r/100 - O_f}{100},$$

де  $B_r$  — вологість гідрофільної частини насіння;  $O_f$  — фактична олійність насіння, %.

Якщо критична вологість гідрофільної частини насіння (білка і крохмалю) становить 15%, а вміст олії - 55%, то критична вологість насіння соняшнику становить 6,75%.

Зі збільшенням вмісту олії зростає гідрофобність насіння, а вміст білка, крохмалю та гідрофільних колоїдів зменшується. Тому вміст вологи повинен бути мінімальним, щоб запобігти гниттю насіння соняшнику.

Насіннева оболонка насіння соняшнику має високу гігроскопічність і становить понад 10 відсотків ваги насіння. Цю властивість слід використовувати для визначення найбільш ефективного методу сушіння, який передбачає чергування сушіння, охолодження та зволоження.

Рівноважний вміст вологи в компонентах насіння неоднаковий, він вищий у лушпинні та нижчий у ядрі.

У практиці переробки та зберігання насіння соняшнику вважається сухим, якщо вологість становить до 7%, помірно сухим - 7-8%, вологим - 8-9% і сирим - понад 9%.

Низька міцність оболонки, теплопровідність, піроліз білкової та олійної фракцій і висока пожежонебезпека насіння соняшнику повинні бути враховані при виборі методів сушіння та конструкції сушарки. Існує також ризик підвищення кислотного та йодного числа і зміни поживних властивостей олії під час післязбиральної обробки насіння.

Для сушіння насіння соняшнику короткі цикли при високих температурах є кращими, ніж довгі цикли при низьких температурах. Для випаровування однакової кількості води в насінні соняшнику потрібно близько 2,7 МДж тепла, у шахтних

сушарках - понад 6 МДж, а в циркуляційних - близько 4 МДж. Сушіння повинно бути швидким з мінімальними витратами тепла і електроенергії.

На випаровування вологи впливають два основні фактори: вологість і теплопровідність. У міру випаровування вологи поверхневий шар насіння висихає. Це означає, що виникає градієнт вологості, коли всередині насінини вологи більше, ніж на поверхні. Це призводить до того, що волога переміщується до поверхневого шару насіння, і чим вища температура нагрівання, тим інтенсивніше відбувається сушіння.

Близько 90 відсотків насіння соняшнику сушать у шахтних сушарках, але цей процес спричиняє нерівномірне нагрівання насіння (до 20°C) і може призвести до займання, якщо воно дуже брудне. Крім того, коли в шахту подається немитий масив, насіння самоперебирається і легші компоненти розміщуються близько до стінки сушарки, що знижує швидкість руху матеріалу в пристінній зоні. Тому була розроблена шахтна сушарка. Короб був замінений на напівкороб, а відстань від бічної стінки до короба була збільшена з 4-6 см до 10-11,5 см. Живильники були переобладнані таким чином, щоб уникнути самовідбору і подавати стос чотирма-шістьма струменями замість одного.

Для сушіння насіння соняшнику вологістю до 15% тепер ефективні більш високі температури нагріву насіння (75°C), при яких в обидві зони сушильної камери подається теплоносій з температурою 160-180°C. При вологості насіння понад 15% температура нагріву становить 65-70°C, а температура теплоносія в 1-й і 2-й зонах сушильної камери - 160°C і 140°C відповідно. Для більш якісного сушіння насіння соняшнику встановлюється додаткова камера, де насіння попередньо підігрівається окремим нагрівачем і витримується протягом 10-12 секунд. Поєднання попереднього підігріву насіння з циркуляційним сушінням дозволяє підвищити ефективність цього процесу. Існують наступні режими попереднього підігріву насіння при вологості нижче 14 % - температура повітря 140 °C; при вологості вище 14 % - 180 - 140 °C. За один прохід вологість насіння може бути знижена більш ніж на 10 %. Витрата теплоносія на тону насіння соняшнику становить 2163 м3/год. Цей спосіб сушіння насіння соняшнику є найбільш ефективним (інтенсивність сушіння значно вища, ніж для зерна). Для сушіння

найчастіше використовують циркуляційні сушарки "Цілінна-50" або "Цілінна-20". Особливістю сушіння насіння соняшнику в барабанній сушарці є те, що чим вища вологість насіння, тим вища температура нагріву. Недоліком є часткова дезінтеграція насіння. Тому барабанні сушарки переобладнані для витримки насіння протягом 14 хвилин (половина часу), підтримуючи температуру теплоносія на вході 250-350°C, а на виході 50-80°C, щоб температура нагрівання насіння не перевищувала 50°C.

Для сушіння насіння соняшнику була розроблена барабанна сушарка з двома барабанами (діаметром 175 см і 100 см відповідно), внутрішнім і зовнішнім. Внутрішній барабан має вісім лопатей, які переміщують насіння до кінця барабана, потім насіння потрапляє в зовнішній барабан і рухається в зворотному напрямку. Теплоносії подаються у внутрішній барабан і виводяться із зовнішнього барабана. Максимальна температура нагріву насіння становить 55°C, температура на вході - 250-350°C, а на виході - 50-60°C. Насіння охолоджується в охолоджувальній колонці.

Подальше вдосконалення процесу сушіння в барабанній сушарці призвело до збільшення кута нахилу з боку подачі до 3°. Ефективність сушарки була подвоєна завдяки додаванню камер накопичення та замочування насіння до тієї ж технічної системи, що й у шахтній сушарці, та оснащенню її чотирма барабанами. Це дозволило знизити вологість насіння на 7-8% за один прохід.

Також було розроблено кілька комбінованих машин. Наприклад, у барабанних сушарках по всій довжині барабана розміщені форсунки, через які подається теплоносії. Теплоносії нагрівається повітрям за допомогою багатосекційних електронагрівачів. У барабанних сушарках час перебування насіння в сушарці також можна регулювати, змінюючи кількість обертів і кут нахилу барабана. Цей тип сушарки використовується, коли кількість насіння соняшнику невелика.

Бункерні сушарки (з 4 або 12 бункерами) використовуються для сушіння насіння соняшнику. Залежно від вологості насіння, висота штабеля варіюється від 50 до 70 см. Напрямок потоку охолоджуючої води змінюється кожні 4-6 годин. Температура охолоджуючої води становить 43-45°C при вологості насіння більше 20%, 46-50°C при вологості 14-20% і 50-55°C при вологості менше 14%. Питома

подача повітря становить 500-700 м<sup>3</sup>/т на годину; насіння з вологістю 19-20% потрібно сушити близько 60 годин. Тому, щоб за цей час насіння не загнило, його сушать у камерних сушарках з вологістю менше 13-14%.

Невеликі партії насіння соняшнику можна сушити у вентиляльованих боксах з нагрівачами, що забезпечують близько 500 м<sup>3</sup>/т питомого повітря на годину. Насіння регулярно пересипають з бункера в бункер, щоб уникнути нерівномірного висихання.

Якщо вологість насіння нижче 13%, для сушіння можна використовувати будь-яку систему активної вентиляції. У типовому сховищі місткістю 3200 тонн найчастіше використовується вентилятор SVU-1В. Цей вентилятор складається з 10 здвоєних магістральних каналів, розташованих у поздовжньому напрямку сховища. Канали екрановані. Довжина повітропроводів - 19 м, ширина - 0,4 м, глибина на початку і в кінці - 0,07 м, відстань між повітропроводами - 2,3-2,9 м. Повітря подається вентилятором ТВУ-2, що забезпечує максимальну питому витрату повітря під час аерації. Насіння вологістю близько 13% засипається на висоту не більше 1,7 м, а питома подача становить не менше 300 м<sup>3</sup>/т на годину. Якщо вологість насіння менше 9-10%, висоту зменшують до 2,5-2,7 м.

Сушіння насіння конопель здійснюється в спеціальних сушарках з використанням стелажних і шахтних сушарок, які нагріваються в кілька проходів до температури 30-32°C на першому етапі і не вище 35°C на останньому етапі.

Дрібні олійні культури (льон, рижій, гірчиця) сушать з меншими витратами сушарки через їх низьку пористість. Зазвичай їх змішують з насінням вівса або ячменю у співвідношенні 1:3 і сушать при температурі охолодження 60-70°C і температурі нагрівання 40-45°C.

Чисте насіння багаторічних трав змішують із зернами ячменю або вівса під час сушіння в шахтній сушарці, оскільки вони часто злипаються і забиваються між ящиками. Крім того, насіння багаторічних трав дуже дрібне і пухке, тому сушарка повинна бути добре ущільнена.

Багаторічне насіння зазвичай сушать у барабанних сушарках, де температура сягає 40-45°C. Для дуже вологого насіння ця температура досить висока, тому на практиці необхідний режим досягається регулюванням подачі палива.

При сушінні насіння тимофіївки в барабанній сушарці температуру слід підтримувати на рівні 100°C. Якщо вологість насіння не перевищує 25%, температуру слід підтримувати нижче 35°C.

Ворсинки конюшини можуть бути дуже забрудненими. Тому їх необхідно попередньо просушити в стрічковій сушарці, карусельній сушарці або на платформі з активною вентиляцією.

Найважливішою особливістю сушіння зерна кукурудзи є те, що воно має меншу втрату вологи, ніж інші зернові культури. Інтенсивність вологообміну кукурудзи залежить від розміру, форми, фізичної структури і хімічного складу зерна і тому варіюється від сорту до сорту. Питома поверхня випаровування зерен кукурудзи вдвічі менша, ніж у зерен пшениці. Кукурудзяна лушпиння щільна і перешкоджає випаровуванню. Волога проникає в зерно переважно через зародок і нерівномірно розподіляється по всіх частинах зерна. Це призводить до нерівномірних внутрішніх напружень під час сушіння, диференційованої усадки тканин і, в тій мірі, в якій цілісність лушпиння не порушена, до утворення внутрішніх тріщин в ендоспермі.

Початки кукурудзи завжди вологіші за зерно, але під час сушіння випаровують воду інтенсивніше, ніж зерно.

Зазвичай качани кукурудзи сушать на стаціонарних стелажах. Коли обгортки зняті, в купі качанів залишається багато проміжків, і повітря може легко циркулювати. Тому існує кілька методів сушіння насінневої кукурудзи в качанах, включаючи бункерні сушарки заводського типу, бункери, платформи, під навісами, активну аерацію і мотики.

Після сушіння качани залишають у бункері на деякий час для перерозподілу вологи та вирівнювання загального вмісту вологи.

Висота штабеля кукурудзи повинна бути такою, щоб максимально ефективно використовувати повітря і не створювати повітряних пробок.

Для цього використовується шахтна сушарка типу DSP-32. Це означає, що під час сушіння кукурудзи для переробки та зберігання можна підтримувати постійний режим нагріву зерна не вище 50°C і температуру охолоджуючої води не вище 130°C і 110°C відповідно. Для насіння кукурудзи з вологістю 22% і більше

використовується двоступенева система сушіння (Таблиця 2.4).

Таблиця 2.4

### Параметри сушіння кукурудзи в качанах з різною вихідною вологістю

Вологість, %	Температура теплоносія, °С	Максимальна висота завантаження, м	Тривалість сушіння качанів до вологості 12 – 13 %, год
> 40	36	2	80
35 – 40	38	2,5	70
30 – 35	40	2	60
25 – 30	42	> 3,5	55
20 – 25	44	3,5	50
< 20	46	> 3,5	45

При сушінні зерна і насіння пропускну здатність сушарок визначають за допомогою перевідного коефіцієнта  $K_p$ , який характеризує здатність зерна віддавати вологу з урахуванням рекомендованих температур агента сушіння та видалення вологи за один пропуск:

Зерно культур	Перевідний коефіцієнт $K_p$
Пшениці, вівса, ячменю, соняшнику	1,0
Жита	1,1
Гречки	1,2
Проса	0,8
Кукурудзи	0,6
Гороху, вики, рису	0,3 — 0,4
Бобів, квасолі, люпину	0,1 — 0,2

Найважливішим параметром процесу сушіння є температура агента сушіння та нагрівання зерна. Температура сушарки не повинна перевищувати  $\pm 3^\circ\text{C}$ , а температура нагрівання зерна не повинна перевищувати  $\pm 2^\circ\text{C}$ .

Температура сушарки вимірюється в дозуючій камері перед вхідним отвором завантажувального ящика. Вимірювання проводяться кожні 30 хвилин за допомогою електричного термометра, встановленого в сушарці, а показання записуються в щоденник оператора кожні 2 години.

Температуру зерна визначити складніше, ніж температуру агента сушіння. В перші години роботи сушарки температуру насіння перевіряють через кожні 10-15 хв, відбираючи проби зерна при виході його з камери нагрівання. Регулюють температуру відкриванням дверець впуску повітря або піддувальних дверець. Після встановлення режиму сушіння температуру зерна вимірюють не рідше як через кожні 2 год.

У сучасних шахтних сушарках температуру нагрівання зерна контролюють за допомогою датчиків дистанційних термометрів, які встановлюють у підсушувальному бункері. Однак такий контроль дає тільки орієнтовні результати.

Після градирні перевіряється температура зерна (іноді на 8-10°C вища за температуру навколишнього середовища), а також якість зерна за органолептичними показниками, такими як колір, яскравість і наявність невластивих запахів. Якщо умови сушіння не дотримані, зерно пропарюють, і деякі зерна можуть мати запах горілого, почорнілого, сажі або диму.

Продуктивність сушарок визначається різними показниками: масою сирого зерна, що надходить у сушарку; кількістю випаровуваної вологи в кілограмах за годину; тонно-процентах зниження вологості та ін.

Масу зерна і продуктивність сушарок виражають у натуральному (умовному) обчисленні — планових одиницях. Планова одиниця сушіння (планова тонна) — це зниження вологості однією тонною продовольчого зерна пшениці на 6 % (з 20 до 14 % вологості). План сушіння, виробіток сушарок при оцінці ефективності їх роботи, оплату за роботу слід розраховувати, виходячи з планових одиниць.

### **3. ПРИКЛАДИ ВИКОРИСТАННЯ РІЗНИХ ВИДІВ ПАЛИВА ДЛЯ СУШИЛЬНИХ АГРЕГАТІВ**

#### **3.1. Використання традиційного палива газу для сушарок**

Під час сушіння зерна кукурудзи різного типу (кременистого, зубоподібного, кременисто-зубоподібного) слід враховувати будову зернівки і особливості її вологовіддачі. За надто швидкого сушіння окремі частини зернини (ендосперм, зародок, оболонки) підсихають нерівномірно, що призводить до появи внутрішніх тріщин у зерні. Особливо значна внутрішня тріщинуватість притаманна зерну кременистого типу, тому його необхідно сушити за м'яких температурних режимів. М'які режими також застосовують для сушіння сирого, недостиглого зерна, адже за швидкого сушіння його зовнішні оболонки загартовуються, що різко знижує швидкість вологовіддачі.

Тому, крім оптимальної температури сушіння, необхідно також підтримувати режим втрати вологи, тобто зменшення вмісту вологи при проходженні зерна через сушарку. У сушарках постійного струму втрата вологи за один прохід повинна становити 4,5-5,5%. Якщо зерно не висушується за один прохід, його слід сушити за кілька проходів. На практиці найкраще використовувати дві зерносушарки в парі, одна з яких працює в режимі сушіння, а друга - в режимі досушування та охолодження. Це гарантує збереження високої якості зерна, ефективність роботи зерносушарки та зниження витрат на електроенергію.

Здвоєні сушарки особливо ефективні для сушіння сирого зерна кукурудзи. Крім зерносушарок, пропонуються нові технічні та технологічні схеми, що включають зернопідігрівачі та барабанні мийки. Попередній підігрів зерна, первинне миття підігрітого зерна, сушіння в циркуляційному режимі, охолодження зерна в зерносушарці та повне охолодження і миття в мийній машині. Підігрівачі не тільки знижують вологість сирого зерна, але й покращують його рух на решіті та в елеваторі. Підігріте зерно менше пошкоджується і дробиться, швидше рухається по шахті зерносушарки.

За різними даними, під час сушіння сирого зерна кукурудзи за новою техніко-технологічною схемою потужність двох спарених зерносушарок ДСП-32 становить

500 т зерна за добу за витрати природного газу 0,85-1,05 м<sup>3</sup>/т-%. Нормативні значення для цих сушарок становлять відповідно 300-350 т та 1,5-2,5 м<sup>3</sup> залежно від збиральної вологості.

Фермери-сільгоспвиробники за збирання відносно невеликих об'ємів зерна у своїх господарствах можуть ще практикувати терморадіаційне (сонячно-повітряне) сушіння. Таке сушіння розпочинається практично на стадії збирання врожаю, в процесі розміщення зернових мас на майданчиках, під час очищення та навантаження-розвантаження. Природній спосіб сушіння особливо ефективний в умовах сухої і теплої погоди.

Зерно кукурудзи підсихає також за допомогою пропускання через навантажувачі, очищувальні машини, зерносепаратори. Внаслідок проходження через різні механізми вологість може знижуватись на 0,5-0,8%.

Сушіння, особливо теплове сушіння в зерносушарках, повинно завершуватися при певній вологості зерна залежно від його призначення. Для кукурудзи встановлені різні стандарти вологості для різних видів використання зерна. Існуючі норми забороняють пересушування зерна нижче встановлених стандартів. Відповідальність за пересушування несуть оператор, керівник сушіння та особа, відповідальна за виробництво і технічну лабораторію.

Після сушіння в зерносушарках зерно нагрівається і потребує охолодження перед зберіганням. Температура, при якій зберігається зерно, не повинна перевищувати температуру навколишнього середовища більш ніж на 8-10°C.

Важливо також правильно розраховувати тривалість сушіння і фактичну продуктивність зерносушарок. Для цього планову (проектну) продуктивність зерносушарок перемножують на такі коефіцієнти: 0,32 – у разі сушіння зерна на харчові потреби; 0,54 – для крохмале-патокової промисловості; 0,65 – комбікормової.

Для істотного зниження витрат та повної заміни традиційних видів палива (рідке, газоподібне) рекомендується застосовувати теплогенератори, які працюють на замінниках палива (рослинні рештки, пелети, солома, стрижні кукурудзи,

щепа). **Пропонуються різні марки генераторів, під час їхнього вибору необхідно враховувати такі техніко-технологічні елементи:**

- вид палива, на якому працюватиме теплогенератор;
- теплова потужність, яку необхідно досягти залежно від типу сушарки;
- стабільність температурного режиму відносно призначення сушарки;
- санітарно-екологічні норми і чистота продукції;
- протипожежна безпека;
- коефіцієнт корисної дії теплогенератора;
- матеріально-технічна характеристика (марка метала та його жаростійкість, футеровка камери спалювання, автоматизація процесу і контролю за режимом сушіння);
- вартість теплогенератора відносно до теплової потужності.

До того ж особливу увагу слід звертати на механізми завантаження теплогенератора та підготовку рослинного матеріалу для спалювання. Оскільки ці додаткові обставини можуть призводити до значного здорожчання теплогенератора.

### **3.2. Використання біомаси для сушарок**

Застосування таких теплогенераторів асоціюється, як правило, із сушарками малої продуктивності, які працюють зазвичай близько одного місяця на рік. Сушарки на біомасі добре зарекомендували себе у невеликих господарствах — з об'ємом зерна кукурудзи до 5–6 тис. т. Найбільша їхня ефективність та обґрунтована доцільність використання — за сушіння незначних об'ємів зерна та потреби зняття невеликого відсотка вологості. Звичайно, підсушувати зерно із застосуванням соломи економічно ефективно з огляду на невисоку вартість цього паливного матеріалу та витрат на його підготовку для спалювання. В Україні таких сушильних комплексів реалізовано поки що мало — близько десяти. Основна проблема під час їхньої роботи — великі трудозатрати на доставку соломи до топки та завантаження у неї.

#### **Солома для теплогенераторів та проблеми її застосування.**

За свідченням власників сушарок, що працюють на біопаливі, для сушіння 25 тис. т зерна кукурудзи потрібно спалити 900 т соломи. Така її кількість потребує

інтенсивного навантаження її зі скирти, доставлення до сушарки та завантаження у топку теплогенератора. Ще один недолік такого палива — необхідність зупиняти роботу сушарки на 4 год, щоб дати можливість охолонути теплогенератору і вивантажити попіл. До того ж слід врахувати, що потік автомобілів, які доставляють кукурудзу до сушарки, не припиняється. Коефіцієнт корисної дії (ККД) котлів при цьому становить 87%. Природно, що він значною мірою залежить від обраного матеріалу: наприклад, солома — досить непросте у спалюванні паливо, проте якщо створити їй правильні умови горіння, то можна домогтися досить високого ККД.

### **Проблема спалювання твердого палива у теплогенераторах.**

Спалювання відходів рослинництва та пелет має свої особливості, пов'язані зі специфічними характеристиками таких видів палива, що створює певні незручності його використання, зокрема:

- підвищене іскроутворення і неповне згоряння, пов'язане із летючістю часток палива;
- велике накопичення попелу в топці, пов'язане із підвищеною зольністю спаленої біомаси;
- шлакування попелу в топці через низьку температуру плавлення в попелі (цей процес спостерігається ще до зупинки горіння палива в топці);
- компоненти у складі пелет під час спалювання утворюють своєрідну масу попелу, яка зумовлює забивання колосників.

ТОВ «Агроспецмонтаж ЛТД» пропонує теплогенератор твердопаливний AGROSM — ТГТП. Завдяки великій потужності та якісним жаротривким матеріалам, використаним у конструкції, температура теплоносія на вході у зерносушарку становить 100...150°C. Працює теплогенератор на твердих паливних матеріалах: пелетах, деревній щепі, кукурудзяних качанах, подрібнених на частки до 50 мм, які подаються у паливний бункер автоматичною шнековою системою. Теплова потужність теплогенератора може становити від 1 до 5 МВт.

Комплекс теплогенератора складається із топки, паливного бункера, іскрогасника-змішувача (або теплообмінника), одного або кількох вентиляторів та повітропроводів. Основна частина топки виготовлена із вогнетривкої цегли, всередині неї передбачені повітроходи. Корпус топки покритий металевим каркасом, а той своєю

чергою — якісною жаротривкою фарбою. У передній частині топки, до її горловини, приєднується іскрогасник — змішувач повітря циклонного типу і через який виходить гаряче повітря. Температура всередині топки досягає 1300...1500°C. Задня стінка топки обладнана пустотілим кожухом, який використовується для додаткового подавання та регулювання кількості повітря, що надходить усередину топки через шибери. У нижній частині розміщено отвір для подавання палива, до якого приєднується паливний бункер. Бічна частина топки обладнана дверцятами, через які відбувається попереднє її розпалювання та за потреби — очищення внутрішніх колосників (якщо теплоагент має високу зольність). Регулювання швидкості подавання повітря відбувається вручну — на вході до іскрогасника-змішувача за допомогою шиберів, розміщених на задній стінці топки. Рівень полум'я у топці визначається візуально через оглядове вічко у дверцятах. За потреби переривання подачі гарячого повітря до зерносушарки необхідно відкрити відкидний розрив між топкою та іскрогасником-змішувачем за допомогою загнутого металевого прута, вставивши його у «вухо» розривної труби та потягнувши донизу. Після закінчення процесу сушіння слід припинити роботу вентилятора, зупинити подавання палива до топки, відкрити розрив між топкою та іскрогасником-змішувачем та для запобігання потрапляння полум'я до паливного бункера відкрити розрив між паливним бункером і топкою. Після охолодження топки за потреби — почистити колосники топки (через дверцята) від залишків продуктів горіння. Очищення топки від попелу проводять у ручному режимі: його залишки видаляються через піддувало, доступ до якого — на бічній стороні топки, протилежній дверцятam.

Іскрогасник — змішувач циклонного типу, призначений для локалізації 99,9% утворених під час згорання біомаси іскор, що вилітають із топки. Іскрогасник приєднується до горловини топки, всередині якої гаряче повітря, що виходить із топки (температура — 700...800°C), змішується із холодним повітрям і охолоджується до температури 250...350°C. У цей час іскри, що вилітають із горловини топки, шляхом закручування повітряними потоками всередині іскрогасника повністю згорають та осідають у бункері, який необхідно час від часу очищувати. Відкривати бункер можна лише за умови повної зупинки вентиляторів та зерносушарки!

На виході з іскрогасника гаряче повітря знову змішується із холодним, досягає температури 100...150°C і за допомогою одного або кількох вентиляторів через повітропроводи подається вже безпосередньо до зерносушарки. Завдяки високій температурі відбувається повне згорання теплоагента без виділення диму та побічних запахів, притаманних процесам горіння біопалива. ККД досягає 85–90%.

Компанія TEFF проводить курс на збереження природних ресурсів планети шляхом заміщення нетрадиційних джерел вуглеводнів поновлюваними паливними ресурсами. Компанія TEFF пропонує модернізацію сушильного обладнання таким чином, щоб сушарка для зерна працювала на теплі від спалювання біомаси. Таке рішення спрямоване на оптимізацію витрат на паливо і раціональне використання відходів виробництва. Це актуально, оскільки багато сільгосп підприємств має відпрацьовану сировину та побічні виробничі продукти: тирсу і стружку, зернову полову, овочеve лушпиння, насінневу лузгу, стебла рослин і багато іншого.

Багатьох цікавить, як це вирішити? Для цього додатково застосовують пальники циклонного або вихрового типу. Топки також розроблені спеціально з урахуванням особливостей палива, яке в них завантажуватимуть. Як правило, вони розраховані на використання дрібнофракційного палива, однак розміри часток можуть різнитися. Принцип роботи цих пальників ґрунтується на максимально ефективному спалюванні всіх часток завантаженого палива. Причому така технологія спалювання палива придатна не тільки для зернових сушарок, а й для багатьох інших теплових установок, що використовують енергію продуктів згорання: теплових генераторів, опалювальних котлів. Це ідеальний варіант вирішення проблеми, як уникнути газової залежності. Використовуючи біопаливо, доступне у певній місцевості, тим більше — відходи свого або місцевого підприємства, можна добитися значної економії. Адже його собівартість практично копійчана, а ефективність надзвичайно висока.

ТОВ TEFF виробляє пальники двох типів, а саме:

**циклонний автоматизований пальник ПЦ (а)-1000** забезпечує високоефективне спалювання твердого низькосортного дрібнофракційного палива. Діапазон теплової потужності становить від 500 до 1000 кВт. Як паливо можуть бути використані

стані відходи різних видів сільськогосподарських культур: лушпиння соняшнику, рису, гречки та ін.

**вихровий автоматизований пальник ПВ (а)-3500** виконує спалювання твердого низькосортного дрібнофракційного палива комбінованим способом (на колосниках і у вихорі). Діапазон теплової потужності — від 1000 до 6000 кВт. Як паливо використовують і відходи сільськогосподарських культур, і гранульовані вироби (деревні та інші пелети) та відходи деревообробки (тирсу, стружку).

Основна сфера застосування таких пальників — комплектування теплогенераторів, які виконують теплозабезпечення (газоповітряна суміш) процесів сушіння у різних типах сушарок, де використовується тепла енергія продуктів згорання органічного палива.

Також компанія TEFF виробляє і реалізує тепловий генератор на альтернативному паливі ТГГВТ. Він комплектується вихровим автоматизованим пальником ПВ (а)-3500, що працює на твердому паливі. Номінальна тепла потужність — від 3500 до 6000 кВт забезпечує високоефективне спалювання низькосортного дрібнофракційного палива (відходи сільськогосподарських культур та деревообробки, гранульоване паливо).

Процес горіння у вихровому пальнику ПВ(а)-3500 відбувається таким чином, що кожен секунду подається і спалюється рівно така кількість палива, яка потрібна для виділення необхідної кількості тепла. Водночас залежно від типу використовуваного твердого палива дозується подавання кисню таким чином, щоб забезпечити проходження процесу горіння за температури, яка не допускає «скипання» попелу. Тобто завдяки такому підходу у пальнику в кожній окремий момент часу згорає невелика кількість палива. Це робить процес експлуатації безпечним з точки зору потенційного виникнення непередбачених ситуацій. На відміну від вихрового спалювання, у піролізних котлах, так само, як і в обладнаних колосниковими ґратами, у топці постійно міститься велика кількість палива, що створює загрозу детонації (до того ж забагато палива у топці на колосниках підвищує інерційність процесу).

Цим проблемам вдається запобігти за використання вихрових пальників, оскільки подавання палива відбувається безперервно і в кількості, що точно

відповідає потребі в тепловій енергії. За швидкістю збільшення/зменшення потужності вихровий твердопаливний пальник не поступається газовому.

Ще одним результатом такого способу організації процесу горіння є висока точність регулювання потужності роботи пальника, тоді як за використання колосникових ґрат або піролізного котла домогтися такої точності за зміни режимів роботи досить складно. Так само це впливає і на діапазон регулювання теплової потужності. У вихровому пальнику доступне регулювання у широкому діапазоні — 30–120% номінальної потужності, тоді як в альтернативних рішеннях цей діапазон значно менший.

Оскільки кожного моменту часу у вихровий пальник подається чітко визначена кількість кисню, що потрібна для ефективного спалювання палива, яке перебуває у пальнику, то гарантується відповідність усім екологічним нормам щодо викидів в атмосферу кожного робочого моменту пальника незалежно від його потужності.

**Горизонтальний вихровий пальник** — найуніверсальніше рішення з погляду попереминого використання різних видів палива. Горизонтальні пальники краще, ніж вертикальні, працюють із паливом, що утворює попіл, оскільки останній не осідає в них, а вилітає назовні разом із факелом, який повністю перебуває за межами пальника. Горизонтальні пальники також менш чутливі до зміни параметрів палива, таких як зольність (можливі її параметри — до 10%), фракція (можлива до 100 мм) і вологість (можлива до 50%).

**Твердопаливний теплогенератор** потужністю 2 МВт (ТОВ «Біоресурс Україна», м. Ізюм) працює як на кусковому крупнофракційному паливі (обрізки, дрова, обаполи, кора, поліна тощо), так і на дрібнофракційному (тирса, стружки, лушпиння, солома тощо).

Для використання останнього теплогенератор має бункер із системою автоматичного подавання палива в топку. Функція теплогенератора — вироблення гарячого повітря (теплоносія) для подальшого сушіння рослинної сировини (біомаси) шляхом високоефективного спалювання низькосортного твердого палива.

Конструктивно теплогенератор є двостінним сталевим циліндром. Внутрішній циліндр футеровано шамотною високотемпературною цеглою. У футерівці розміщено спеціальні наддувні сопла, виготовлені із матеріалу, що витримує температуру

1650°C. У зовнішньому циліндрі є отвори, через які повітря нагнітається вентиляторами у порожнину між зовнішнім і внутрішнім циліндрами. Там воно нагрівається, одночасно охолоджуючи внутрішній циліндр, і потім через наддувні сопла потрапляє у зону піролізу та доспалювання. В обох цих зонах наддувні сопла розміщені тангенціально, тому потік повітря створює вихор, змушуючи частки палива рухатися максимально довгою траєкторією і притискатися до розпеченої поверхні футерівки, що забезпечує практично повне їхнє згорання.

Наддувне повітря для розпалювання топки також подається тангенціально і піддається підігріванню. Теплогенератор може бути виготовлений у двох варіантах — як у горизонтальному, так і вертикальному виконанні залежно від параметрів будівлі, в якій планується встановлення обладнання. Зазвичай поширеніше горизонтальне виконання. Для досягнення максимальної ефективності роботи твердопаливних теплогенераторів рекомендується використовувати для спалювання попередньо підсушене паливо: сухі обрізки, дрова, обаполи, кору, деревні відходи (тріску, тирсу та ін.). Теплогенератор має низку інноваційних технічних рішень, які забезпечують спалювання палива в два етапи: спочатку за високої температури і нестачі кисню відбувається газифікація (піроліз), а потім — доспалювання піролізних газів із надлишком кисню. Обидва процеси відбуваються у вихорі, а утворені під час їхнього перебігу іскри і попіл уловлюються іскрогасником і попеловловлювачами.

При кількості матеріалу, що слід висушити (зняття вологості зі 24 до 14%) витрата дизельного палива - 1,2 л/т/%, витрати пелет 1,5 кг/т/%, економічний ефект становить:  $1,2 \cdot 40 \text{ грн/л} - 1,5 \text{ кг/т/%} \cdot 7 \text{ грн/кг} = 48 - 10,5 = 37,5 \text{ грн/ т/%}$

Аналогічно при застосуванні природного газу – 2,9 м<sup>3</sup>/т/%, тому ефект становитиме:  $2,7 \cdot 25 \text{ грн/л} - 1,5 \text{ кг/т/%} \cdot 7 \text{ грн/кг} = 67,5 - 10,5 = 57 \text{ грн/ т/%}$

## ТЕПЛОГЕНЕРУЮЧИЙ КОМПЛЕКС НА БІОМАСІ ДЛЯ ЗЕРНОСУШАРКИ

Застосовуючи на практиці досвід провідних європейських та вітчизняних виробників, комплектуємо зерносушильні комплекси теплогенеруючою установкою, що використовує в якості палива біомасу.

Переваги теплогенеруючого комплексу на біомасі:

- повна автоматизація подачі палива;

- використання в якості сушильного агента чистого підігрітого повітря з виключенням прямого контакту димових газів з сільськогосподарською продукцією;
- ККД вище 90%;
- використання біопалива з вологістю до 50%;
- можливість монтажу у вже існуючий зерносушильний комплекс з газовим теплогенератором.

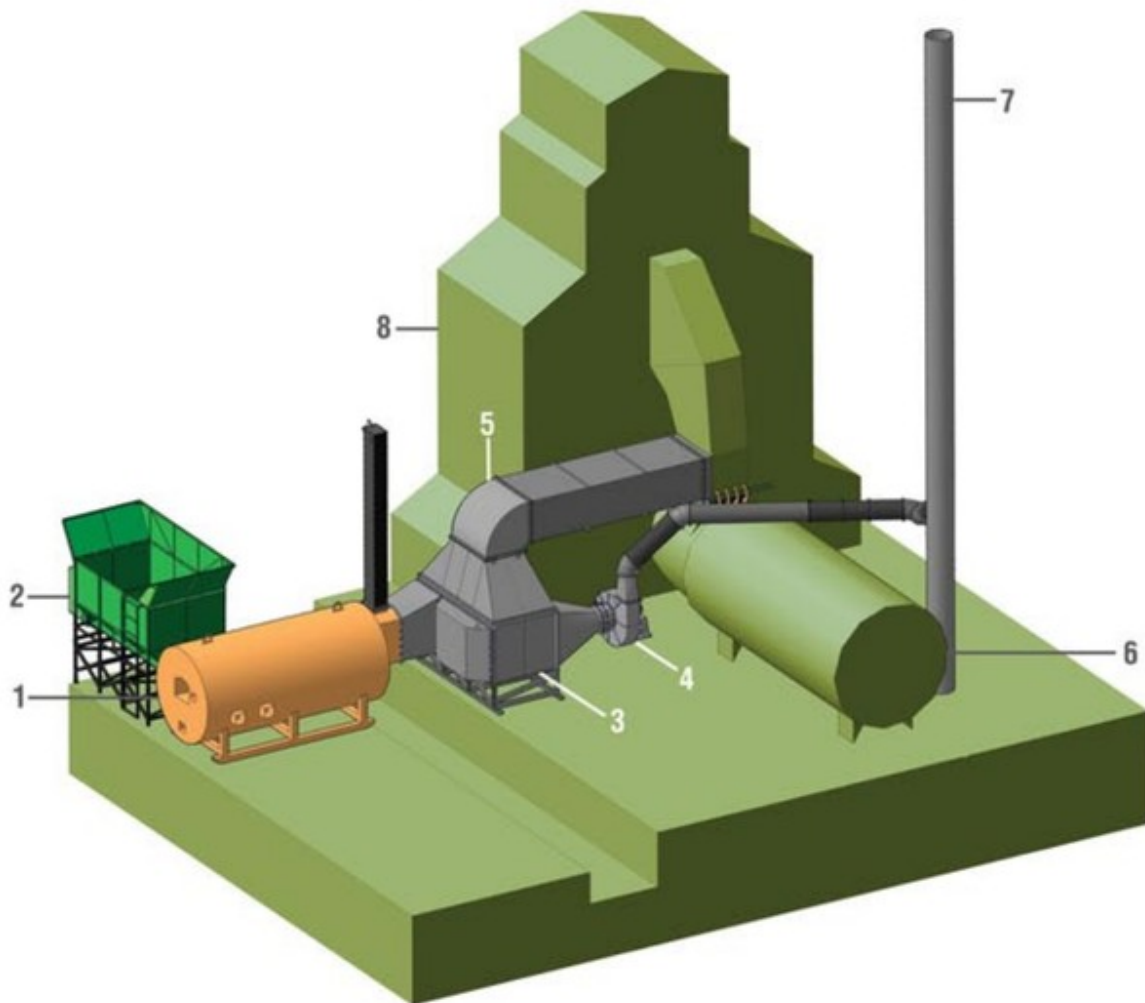
Технічні характеристики зерносушарки на біомасі:

- Сушильний агент - чиста повітряна суміш.
- Вид палива: відходи сільського господарства, тріска, пелети, тирса (механічне завантаження); дрова довжиною до 1 метра (ручне завантаження).
- Витрати палива від 150 до 2500 кг/год. (в залежності від необхідної потужності).
- Діапазон регулювання температури сушильного агента від 40 до 180%.
- Автоматична підтримка заданої температури.

До складу теплогенеруючого комплексу (твердопаливної зерносушарки) входять:

1. Теплогенератор з камерою змішування, потужністю до 10 МВт.
2. Механічна подача біомаси (бункер-дозатор і «живе дно»).
3. Теплообмінник «повітря-повітря».
4. Димосос і димові канали.
5. Повітроводи подачі сушильного агента.

## Система альтернативного теплопостачання для зерносушильного комплексу



1. Теплогенератор з камерою змішування потужністю до 10 МВт
2. Механічна подача біомаси (бункер-дозатор і «живе дно»)
3. Теплообмінник «повітря-повітря»
4. Димосос і димові канали
5. Повітроводи подачі сушильного агента
6. Газовий теплогенератор (існуючий)
7. Димова труба
8. Шахта зерносушарки

Рис.3.1. Система альтернативного теплопостачання для зерносушильного комплексу

### 3.3. Застосування відходів кукурудзи в якості палива

Розглянемо варіант використання власних відходів від сушіння кукурудзяних качанів для використання в якості палива для підігріву теплоносія.

Сушильний цех для кукурудзяних качанів DHD компанії PETKUS є установкою для сушіння свіжоприбраних кукурудзяних качанів без обгорток, що відрізняється особливо високою енергетичною ефективністю. У такому обладнанні, розробленому за технологією Double-Pass (DP) Reverse (з двома проходами), сушильні камери пов'язані один з одним за допомогою центральної системи повітряних шахт. Гаряче повітря виробляється централізованим способом за допомогою чотирьох пальників/вентиляторів. У першому проході сушильне повітря для остаточного сушіння потрапляє через повітряні шахти для сушіння верхнім потоком повітря в сушильну камеру. У другому проході тепле повітря надходить для сушіння сировини нижнім потоком повітря в наступну сушильну камеру, в якій виконується попередня сушіння. Висока ефективність використання енергії досягається завдяки використанню гарячого повітря у двох проходах (double pass). Вологе та охолоджене повітря відводиться назовні.

Конструкція:

- система сушильного приміщення одного чи двох проходів модульної конструкції;

- повністю оцинковане;

- сушильна камера з перфорованих решітних пластин та отворів для наповнення та вивантаження сушарки;

- камера змішування повітря з вентилятором та нагрівачем;

- дверима та регульованими жалюзі для поділу повітря;

- системою контролю температури;

- транспортуючими конвеєрними транспортерами для завантаження та вивантаження бункерів для сушіння;

Схема сушильного цеху для кукурудзяних качанів DHD компанії PETKUS представлена на рис 3.2.

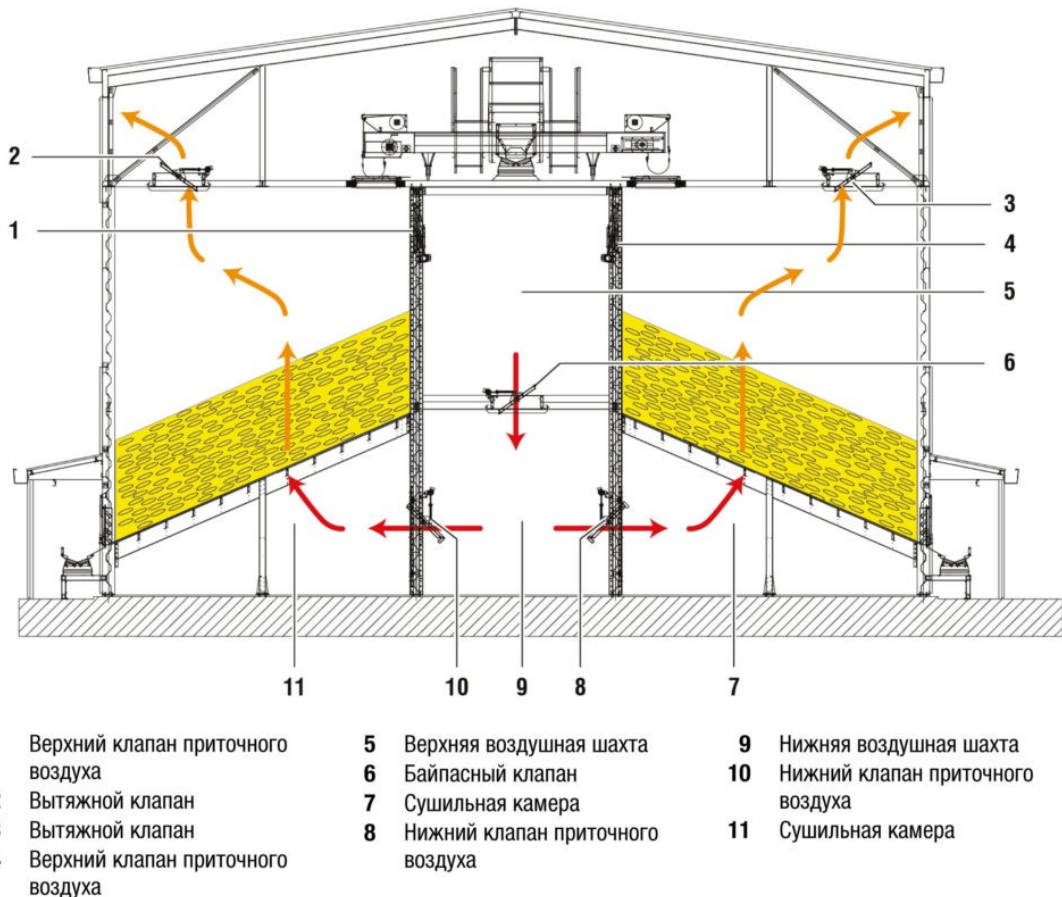
Розрахунок представимо в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

## Розрахунок витрат на процес сушки початків кукурудзи в 24 камерній сушарці

№ п/п	Найменування	Позначення	Одиниці	Варіанти систем тепlopостачання			
				1 варіант		2 варіант	
				Природний газ		Початки кукурудзи	
1	Завантаженість сушарки (зерно+качан)	Gзкп	т	1000	1000	1000	1000
2	Початкова вологість зерна	Wп	%	36	36	36	36
3	Кінцева вологість зерна	Wк	%	15	15	15	15
4	Кількість вологи, що вилучається	W	т	247,06	247,06	247,06	247,06
5	Кількість зерна+качан після сушки	Gзкк	т	752,94	752,94	752,94	752,94
6	Кількість зерна після сушки	Gзк	т	465,00	465,00	465,00	465,00
7	Кількість качанів після сушки	Gкк	т	287,94	287,94	287,94	287,94
8	Кількість тепла на вилучення вологи	Qв	ГДж	568,24	568,24	568,24	568,24
9	Питома теплота згорання природного газу	Qнрпг	МДж/м3	33,52	33,52		
10	Питома теплота згорання качанів	Qнркк	МДж/кг			16,00	16,00
11	Витрата палива на вилучення вологи за цикл	Впг(Вкк)	тис м3(т)	16,95	16,95	35,51	35,51
12	Птомі витрати палива на 1 т висученої кукурудзи для вилучення вологи		м3(кг)/т	36,46	36,46	76,38	76,38
13	Час сушки	Чс	год	86,40	86,40	86,40	86,40
14	Витрата повітря на сушку	Gп	м3/год	37700,00	37700,00	37700,00	37700,00
15	Початкова температура повітря	tпп	град Цельсія	15,00	-15	15,00	-15
16	Кінцева температура повітря	tкп	град Цельсія	40	42	40	42
17	Кількість тепла, що необхідно для нагрівання повітря	$Qп=Gп*сп*(tкп-tпп)$	ГДж/год	0,94	2,15	0,94	2,15
18	Потужність 1 камери		кВт	261,81	596,92	261,81	596,92
19	Потужність сушарки		кВт	6283,33	14326,00	6283,33	14326,00
20	Потужність пальника	Qпал1	кВт	1628,00	1628,00	1628,00	
21	Кількість пальників	Nпал	шт	8,00	8,00		
22	Загальна потужність пальників	Qпал	кВт	13024,00	13024,00		
23	Витрата палива на нагрівання повітря на одну камеру	Впгп1(Вккп1)	м3/год(кг/год)	28,12	64,11	58,91	134,31
24	Витрата палива на нагрівання повітря на сушарку	Впгп(Вккп)	м3/год(кг/год)	674,82	1538,59	1413,75	3223,35

25	Витрата палива на нагрівання повітря на сушарку за цикл	Вгпщ(Вкпщ)	тис м3(т)	58,30	132,93	122,15	278,50
26	Питома витрата палива на 1 т висушеної кукурудзи		м3(кг)/т	125,39	285,88	262,68	598,92
27	Питома витрата палива на 1 т висушеної кукурудзи+качани		м3(кг)/т	77,44	176,55	162,23	369,88
28	Питома витрата палива на 1 т сирії кукурудзи+качани		м3(кг)/т	58,30	132,93	122,15	278,50
29	Ціна палива		грн/м3	25,00	25,00		
30	Затрати коштів на 1 т сирії кукурудзи+качани		грн/т	1457,61	3323,36		
31	Обсяг переробки		т	10000	10000		
32	Затрати коштів		тис грн	14576,13	33233,58		



**Рис.3.2. Схема сушильного цеху для кукурудзяних качанів DHD компанії PETKUS**

За результатами розрахунків видно, що після циклів сушіння достатньо маси качанів для проведення процесу сушіння.

Необхідна кількість качанів 122,15 т та 278,5 т при наявних 287,94 т.

## ВИСНОВКИ

В магістерській кваліфікаційній роботі розглянуто особливість сушіння зернових, в тому числі кукурудзи.

Розглянуто можливість застосування різних видів палива традиційних (природний газ, дизель), а також альтернативне паливо (біомаса та відходи від кукурудзи - качани).

Визначено, що економічно доцільно використовувати біомасу та відходи агропродукції в якості палива для сушки кукурудзи.

Для розглянутого варіанту сушки кукурудзи в качанах визначено, що достатньо кількості відходів і економічно доцільно їх використання пряма економія коштів становить від 14 до 33 тис грн на т кукурудзи за стандартної сушки від 36 до 15 % вологи.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Акаємова, Л.П. Вплив добрив та густоти рослин на урожай кукурудзи в західних районах чорноземних зон: автореф. дис. канд. с.-х. наук 06.01.09. М., 1977. 15 с.
2. Афендулов К.П. Минеральное питание и удобрение кукурузы. Киев, 1966. 258 с.
3. Багринцева В.Н. Шмалько И.А., Никитин С.В., Варданян В.С. Оптимальная густота стояния растений гибридов кукурузы. Зерновое хозяйство. 2011. №4. С. 110-116.
4. Барсуков С. Е. За счет зерновой технологии. Кукуруза и сорго. 1990. №5. с.18-19.
5. Безрукова, В.П. Влияние густоты стояния и способов размещения растений на урожай зерна кукурузы в южной степи Украины. Нормы высева, способы посева и площадь питания с.-х. культур. М.: Колос, 1991. С. 85.
6. Бобрышев Ф. И., Стародубцева Г. П., Попов В. Ф. Эффективные способы предпосевной обработки семян. Земледелие. 2000. №3. С. 45.
7. Бондаренко Н.Ф., Жуковский Е.Е., Кащенко А.С., Небольсин А.Н., Усков.– Бондаренко И.Б. Высокие урожаи по программе. Л.: Лениздат, 1986. 143 с.
8. Бузенова В. Н. Методические рекомендации по дисциплине: Организация производства и предпринимательство в АПК. Тверь: Агросфера, 2010. 35 с.
9. Буцєрога, М.М., Бойко О.М. Влияние условий питания на динамику сухих веществ и химический состав кукурузы Тр. Укр. НИИ земледелия. УкрНИИ. Киев, 1960. № 10. С.78 - 81.
10. Володарский, Н.И. Биологические основы возделывания кукурузы. М.: Колос, 1975. С. 256.
11. Жєглова Т., Воронцова С., Назарова А., Чурилов Г. Влияние сушки на химический состав растений. Главный Агроном. 2011, №3. С. 20-22.

12. Злотников, А.К, Алехин В.Т., Сергеев В.Р., Злотников К.М. Эффективность регулятора роста Альбит на кукурузе. Земледелие. 2011. № 2. С. 27-28.
13. Иванов А.Ф, Филин. В.И. Теория и практика программирования урожаяев. Земледелие. 1984. №5. С.32-36.
14. Иващенко В.Г. Устойчивость кукурузы к основным болезням и разработка методов ее повышения:автореф. дис. ... докт. с.-х. наук: 06.01.11, СПб, 1992. 38 с. 178
15. Кваша С. М., Власов В. І., Кривенко Н. В. та ін. Експорт та імпорт продукції аграрного сектору України: стан та тенденції / за ред. С.М. Кваші. К.: ННЦ ІАЕ, 2020. 80 с.
16. Климашевский Э.Л., Физиологические особенности корневого питания разных сортов кукурузы в Нечерноземной полосе. М.: Наука, 1966. 150 с.
17. Крошко Г. Д. Левченко В. І., Щабельська Л. Д. Правила організації і ведення технологічного процесу на круп'яних заводах. К.: ВПОЛ, 1998. 164 с
18. Методичні рекомендації до викон. випускної кваліфікаційної роботи на здобуття освіт, ступ. «Магістр» за спец. 144 «Теплоенергетика» освіт.-проф. прогр. «Теплоенергетика та енергоефективні технології» ден. та заоч. форми навч. / уклад. М.О. Прядко, В.М. Філоненко, В.О. Бойко, Н.В. Иващенко.К.: НУХТ, 2021. 36 с.
19. Теплогенератори на біомасі: ефективно, продуктивно, економно. Пропозиція. Головний журнал з питань агробізнесу. URL: <https://propozitsiya.com/ua/teplogeneratori-na-biomasi-efektivno-produktivno-ekonomno> (дата доступу 13.01.2024)
20. Теплогенеруючий комплекс на біомасі для зерносушарки. URL: <https://euromag.biz/ua/p1225691150-teplogeneruyuchij-kompleks-biomasi.html> (дата доступу 13.01.2024)
21. Тимофієва Г. С. Світовий ринок аграрної продукції: особливості участі України. Вісник Чернігівського державного технологічного університету. 2014. № 1. С. 56-61
22. Шаповаленко О.І., Грегірчак Н.М., Супрун-Крестова О.Ю., Скоковська І.А., Сторожук Т.В., Шикуча М.В. Вивчення мікробіологічного стану кормових

сумішей в процесі зберігання: матеріали 71-тої наукової конференції молодих вчених, аспірантів і студентів, 19–20 квітня 2005 р., м. Київ / М-во освіти і науки, молоді та спорту України, Національний університет харчових технологій. К.: НУХТ, 2005. С. 64.

23. Шпиганович Т.О., Ялпачик О.В. Обґрунтування конструктивних параметрів дробарки зерна прямого удару з попередньою сепарацією зернового матеріалу. Праці Таврійського державногоагротехнологічного університету. Мелітополь : ТДА-ТУ, 2010. Вип. 10, т.3. С. 23–35.