

Луцький національний технічний університет  
(повне найменування вищого навчального закладу)  
Факультет аграрних технологій та екології  
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))  
Кафедра аграрної інженерії ім. проф. Г.А.Хайліса  
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

## ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи

магістра

на тему: «Дослідження процесу сушіння технічних культур з удосконаленням  
механізмів завантаження-вивантаження матеріалу»

Виконав: студент 2 курсу, групи АІм-21  
спеціальності 208 Агроінженерія  
за освітньо-професійною програмою  
«Агроінженерія»

Дмитрук В.І.

(прізвище та ініціали)

Керівник

Кірчук Р.В.

(прізвище та ініціали)

Гарант ОП

Хомич С.М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

Дударєв І.М.

(прізвище та ініціали)

Луцьк 2024

# ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет	<u>аграрних технологій та екології</u>
Кафедра	<u>аграрної інженерії ім. проф. Г.А.Хайліса</u>
Галузь знань	<u>20 Аграрні науки та продовольство</u>
Освітній ступінь	<u>магістр</u>
Спеціальність	<u>208 Агроінженерія</u>
Освітньо-професійна програма	<u>Агроінженерія</u>

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри аграрної інженерії  
ім. проф. Г.А.Хайліса

доцент, к.т.н.

С.М. Хомич

«30» грудня 2023 р.

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРАНТУ

Дмитруку Валентину Івановичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження процесу сушіння технічних культур з удосконаленням механізмів завантаження-вивантаження матеріалу

керівник роботи Кірчук Руслан Васильович, к.т.н., професор

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

затверджена наказом ЛНТУ від «30» грудня 2023 р. № 445/01-02

2. Термін здачі студентом роботи 10 грудня 2024р

3. Вихідні дані до роботи

Тип машини - модельна;

Спосіб формування сушильного агенту - електрокалорифер;

Встановлена потужність - 20 кВт;

Продуктивність 500 кг/год

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

1. Титульний аркуш .
2. Завдання на роботу магістра.
3. Реферат.
4. Зміст.
5. Вступ.
6. Основну частину.
7. Загальні висновки.
8. Перелік джерел посилань.
9. Додатки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

	к-сть листів
1. Вихідні дані .....	1 лист
2. Теоретичні положення .....	1 лист
3. Апаратура та обладнання для експериментальних досліджень	1 лист
4. Результати експериментальних досліджень	1 лист
5. Планування та результати експерименту з використанням математичного методу планування	1 лист
6. Схема експериментальної установки чи досліджуваної машини (функціональна або принципова)	1 лист
7. Складальне креслення розроблюваного чи удосконаленого вузла	1 лист

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормоконтроль	Юхимчук С.Ф., доцент		

7. Дата видачі завдання 30 грудня 2023р.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд літератури за темою, формування завдань досліджень	17.06. – 01.07.2024 р.	
2	Обґрунтування конструкції і теоретичні дослідження	20.08 – 31.08.2024 р.	
3	Розробка схеми експериментальної установки чи досліджуваної машини	01.09 – 30.09.2024 р.	
4	Розробка програми і методики експериментальних досліджень	01.10 – 15.10.2024 р.	
5	Реалізація та обробка результатів експериментальних досліджень	01.10 – 15.10.2024 р.	
6	Експериментальні дослідження з використанням математичного методу планування	15.10 – 01.11.2024 р.	
7	Розробка креслення розроблюваного чи удосконаленого вузла	01.11 – 15.11.2024 р.	
8	Узагальнення результатів та оформлення пояснювальної записки	15.11 – 25.11.2024 р.	
9	Оформлення ілюстративного матеріалу для захисту магістерської роботи	15.11 – 25.11.2024 р.	
10	Нормоконтроль	до 04.12.2024 р.	
11	Представлення кваліфікаційної роботи на перевірку на плагіат	04.12.– 14.12.2024 р.	

Студент

Дмитрук В.І.  
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

Кірчук Р.В.  
(прізвище та ініціали)

Гарант ОПП

Хомич С.М.  
(прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

У кваліфікаційній магістерській роботі на тему: «Дослідження процесу сушіння технічних культур з удосконаленням механізмів завантаження-вивантаження матеріалу» представлено вирішення науково-прикладної задачі формування енергоощадних режимів сушіння насіння технічних сільськогосподарських культур та підвищення продуктивності обладнання за рахунок використання системи гнучких шнеків і процесі завантаження-вивантаження зерна.

Сферою застосування даного дослідження може бути рослинництво, а саме вирощування технічних сільськогосподарських культур. Застосування запропонованої технології дозволить більш ефективно використовувати енергоресурси для післязбиральної обробки насінневого матеріалу шляхом використання мобільних сушарок у фермерських господарствах.

Кваліфікаційна магістерська робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел із 14 назв та 2 додатків. Основна частина викладена на 64 сторінках, містить 20 рисунків і фотографій, 2 таблиці.

## ABSTRACT

The qualifying master's thesis on the topic: " Drying process study of industrial crops with improvement of material loading and unloading mechanisms " presents a solution to the scientific and applied problem of forming energy-saving modes of drying seeds of technical agricultural crops and increasing the productivity of equipment due to the use of a system of flexible screws and the loading-unloading process grain

The field of application of this research can be crop production, namely the cultivation of technical agricultural crops. The application of the proposed technology will allow more efficient use of energy resources for post-harvest processing of seed material through the use of mobile dryers in farms.

The qualifying master's thesis consists of an introduction, four chapters, conclusions, a list of used sources from 14 titles and 2 appendices. The main part is laid out on 64 pages, contains 20 drawings and photographs, 2 tables.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
	10
РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ .....	
1.1 Технічні культури та їх біологічні особливості .....	10
1.2 Особливості сушіння насіння соняшника .....	15
1.3 Висновки, мета та завдання дослідження .....	23
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ ЗЕРНОВИХ ТА МЕТОДІВ ЇХ ЗАВАНТАЖЕННЯ-ВІВАНТАЖЕННЯ ІЗ СУШАРКИ .....	24
2.1 Основи теорії процесу сушіння технічних сільськогосподарських культур.....	24
2.2 Пошук шляхів вдосконалення процесів завантаження-вивантаження зернового матеріалу в сушарку .....	37
2.3 Висновки до розділу 2 .....	42
РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ .....	43
3.1 Програма і методика експериментальних досліджень .....	43
3.2 Прилади, апаратура та обладнання для проведення досліджень .....	45
3.3 Визначення вологості насіння соняшнику.....	46
3.4 Встановлення кутів природного відкосу .....	47
3.5 Визначення фізико-механічних властивостей насіння соняшнику.....	48
3.6 Висновки до розділу 3 .....	50
	51
РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ .....	
4.1 Дослідження кінетики сушіння насіння соняшнику.....	51
4.2 Дослідження фізико-механічних властивостей насіння соняшнику .....	53
4.3 Дослідження травмування зерна шнековим живильним пристроєм.....	56
4.4 Висновки до розділу 4 .....	58

	6
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ .....	60
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ .....	62
ДОДАТКИ .....	64

## ВСТУП

Найбільш поширеними в Україні технічними культурами є цукрові буряки та соняшник. За обсягом валового збору цукрових буряків Україна посідає чільне місце у світі, а найбільші площі відводять у лісостепу (Тернопільська, Вінницька, Черкаська та Хмельницька області), де зосереджено 75% посівів. Також обробляють солодкі коренеплоди у південній частині Полісся та північній частині степової зони.

Соняшник – основна олійна культура України, за обсягом вирощування якої країна займає одне із провідних місць у світі. Здебільшого соняшник культивують у степових та лісостепових районах, а найбільші площі його посівів розташовані у Дніпропетровській, Луганській, Запорізькій та Донецькій областях.

З інших олійних культур в Україні вирощують кунжут, рицина, мак, ріпак. Насіння кунжуту містить близько 50% жирів, які використовують у харчовій промисловості (кунжутне масло, халва) та в медицині. З насіння рицини, що містить до 58% жирів, виготовляють рицинове (касторове) масло, що використовується в хімічній галузі, медицині та техніці. Насіння ріпаку, жирність якого становить до 45%, придатне для виготовлення олії та є кормом для худоби (макуха, зелена маса). З насіння маку одержують харчову олію для кондитерської, консервної та парфумерної промисловості, а також виготовлення малярних фарб. Макуха йде на годування худоби. Крім того, насіння маку використовують у хлібопекарській та кондитерській галузях. З маківок виготовляють лікувальні препарати: морфін, кодеїн, папаверин та ін.

Ефіро-олійні культури, що використовуються в харчовій та парфумерній промисловості, вирощують переважно на півдні: коріандр у степу, м'яту, фенхель, кмін – у лісостепу.

В Україні поширені такі технічні культури, як хміль, тютюн, арахіс. Хміль вирощують переважно на Поліссі (особливо на Житомирщині). Найбільші плантації тютюну (загалом близько 30 тис.га) розташовані в Криму, Придністров'ї (Одеська область) та на Закарпатті. Тютюн нижчої якості та махорку традиційно культивують у Чернігівській, Полтавській та Сумській областях.

**Актуальність дослідження.** Насіння соняшника – основна олійна культура в Україні. Сушене насіння соняшнику використовують для приготування соняшникової олії та інших потреб. Технологічна цінність насіння соняшника визначається його олійністю. Тому важливо зберегти кількість та якість олії, а також дуже важливо не пошкодити насіння. Відсутні розробки спеціальних засобів сушіння технічних культур, зокрема соняшника, призводить до великих затрат ресурсів на післязбиральну його обробку. Особливо суттєво це для малогабаритних мобільних сушарок із ускладненими процесами завантаження – вивантаження зерна.

**Мета роботи** - підвищення ефективності та зниження загальних витрат на процес сушіння насіннєвого матеріалу технічних культур за рахунок розробки та використання вдосконалених систем завантаження-вивантаження сушильних камер сушарок сільськогосподарського призначення.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- дослідити насіння технічних культур, зокрема соняшнику, як капілярнопористе-колоїдне тіло, що піддається конвективному сушінню;
- встановити та проаналізувати відомі методи та засоби сушіння технічних культур, виокремити переваги існуючих технологій та встановити недоліки;
- теоретично обґрунтувати методику розрахунку процесу сушіння технічних культур;
- експериментально дослідити фізико-механічні властивості насіння соняшнику, як об'єкта сушіння;
- дослідити кінетику сушіння насіння трав з використанням відомих досліджень та технологій;
- розробити вдосконалену схему сушіння насіннєвого матеріалу з системою завантаження-вивантаження сушильних камер на основі гнучких шнеків.

**Об'єкт дослідження.** Технологічний процес та технічні засоби сушіння та транспортування насіння технічних сільськогосподарських культур .

**Предмет дослідження.** Технологічні схеми та закономірності сушильних та транспортно-розвантажувальних робіт у мобільних сушарках технічних сільськогосподарських культур.

**Методи та способи вирішення задачі.** Методологічною основою теоретичних досліджень є основи теорії сушіння, класичної механіки, математичної статистики. Обчислювальні операції здійснювалися з використанням системи Microsoft Excel. Експерименти проводилися із застосуванням типової та спеціально виготовленої вимірювальної апаратури та пристроїв, стандартних та розроблених методик з планування та обробки дослідних даних.

**Наукова новизна одержаних результатів.**

- набули подальшого розвитку відомі методи сушіння насіння технічних сільськогосподарських культур із ефективним використанням енергозберігаючих методів сушіння;
- запропоновано методику розрахунку та обґрунтовано конструктивно-технологічні параметри пристрою для сушіння насіння технічних сільськогосподарських культур в умовах дрібних фермерських господарств;
- вдосконалено спосіб завантаження-вивантаження зернового матеріалу у сушильні камери мобільних сушарок шляхом застосування завантажувальних пристроїв з гнучкими шнеками.

**Практичне значення одержаних результатів.** Запропоновані результати досліджень можуть бути використані при вдосконаленні обладнання для післязбирального обробітку насіння технічних сільськогосподарських культур у фермерських господарствах та агрогосподарствах, які застосовують невеликі мобільні сушарки.

**Апробація роботи.** Основні положення виконаних досліджень обговорювались на IV студентській конференції «Сучасні технології у агровиробництві та природокористуванні» факультету аграрних технологій та екології Луцького національного технічного університету (2024р.).

**Структура й обсяг роботи.** Кваліфікаційна магістерська робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел із 14 назв та 2 додатків. Основна частина викладена на 64 сторінках, містить 20 рисунків, 2 таблиці.

## РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 1.1. Технічні культури та їх біологічні особливості

Технічні культури – це сільськогосподарські матеріали, що використовують як сировину у промисловому виробництві, зокрема для виробництва тканин і харчових продуктів. Технічні культури поділяються на кілька груп [1,2,3]:

- волокнисті, наприклад, бавовник, конопля, джут;
- олійні - це соняшник, соя, ріпак, арахіс;
- цукроносні, як цукровий буряк;
- тонізуючі - чай, кавове дерево, какао;
- каучуконосні та ефіро-олійні (лаванда, троянда, м'ята).

За цільовим призначенням технічні культури діляться на: крохмаленосні, цукроносні, олійні, ефіроолійні, прядивні рослини, лікарські, дубильні та наркотичні.

Соняшник відноситься до сімейства айстрових (Asteraceae) або складноцвітих (Compositae). Корінь стрижневий, що проникає за добрих ґрунтових умов на глибину 3 м і більше. Стрижневий корінь росте дуже швидко і перевищує зростання стебла. У стадії 4...5 листя довжина кореня досягає 60...70 см. Він дуже чутливий до ущільнень ґрунту та підґрунтя. Рослина утворює потужну систему бічних коренів і корінців, частина яких йде паралельно головному кореню на відстань 20...40 см, а частина поширюється в шарі ґрунту 10...45 см із загином углиб, утворюючи густу мережу дрібних корінців (рис. 1). Найбільш інтенсивне зростання коренів відбувається в період від утворення кошика до цвітіння [3-5].

Завдяки такій сильній гіллястій системі бічних коренів і корінців, які становлять 50...70% кореневої маси і у добре розвинених рослин можуть досягати діаметра 1,5 м, а також головному корню, що швидко впроваджується вглиб, соняшник може витримувати посуху і добре засвоювати поживні речовини і ґрунтову вологу. За більш вологих умов коріння розвивається ближче до

поверхні ґрунту, при стійкій сухій погоді проникає глибше. У першому випадку рослини менш стійкі до вітрового навантаження і, отже, до вилягання. Дрібне поширення коріння при надлишку вологи слід враховувати, обробляючи міжряддя.

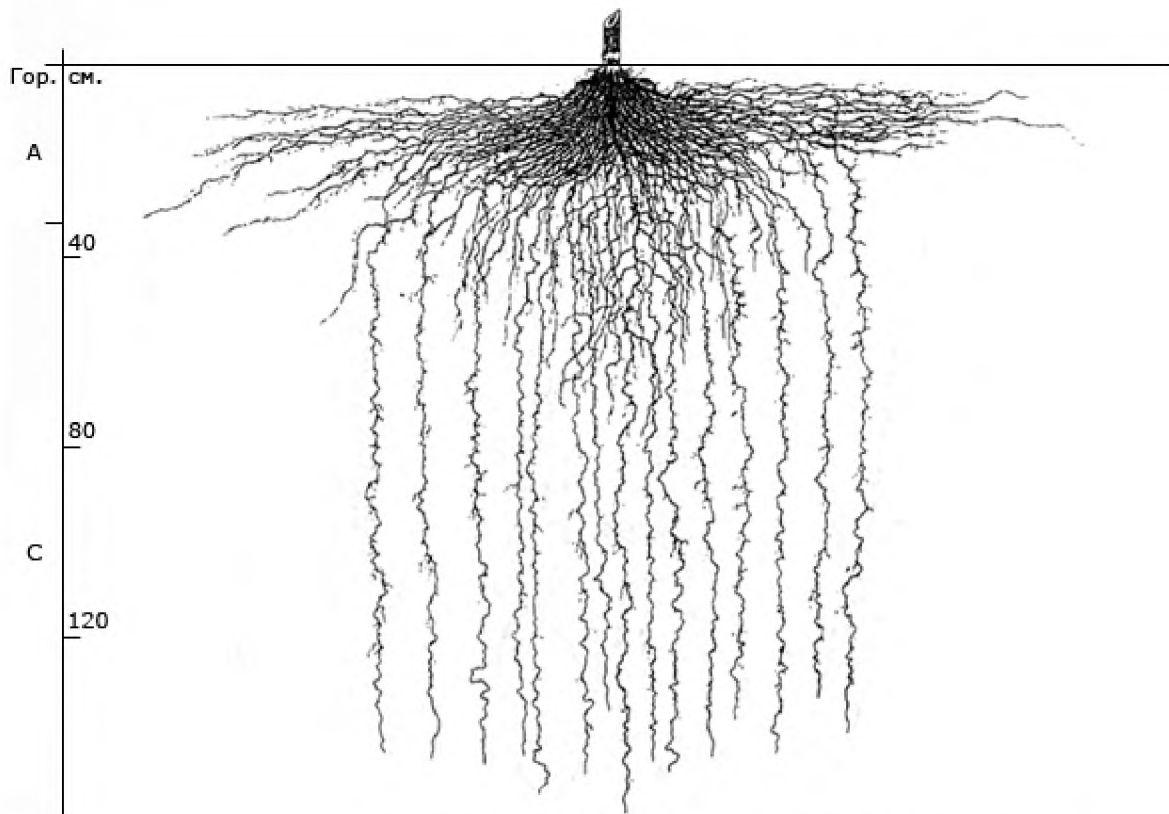


Рисунок 1.1 – Коренева система соняшнику

Завдяки потужній кореневій системі соняшник найповніше, порівняно з іншими однорічними рослинами (крім цукрових буряків), використовує вологу та поживні речовини з глибоких шарів ґрунту.

Стебло у сучасних сортів і гібридів не розгалужене, висотою від 0,6 до 4 м, діаметр нижньої частини його в посівах 2...4 см, більш-менш волосисте, трав'янисте, в нижній частині одерев'яне. Стебло закінчується суцвіттям. На початку дозрівання верхні частини стебла згинаються під вагою кошика, причому бажано, щоб кути нахилу верхніх частин стебел з кошиками до уявного продовження прямого стебла становили  $115 \dots 135^\circ$  (рис. 2).

Листя на стеблі розташоване спіральсно, тільки перші чотири листи супротивні. Вони мають більш менш серцеподібну форму, вкриті короткими

жорсткими волосками. Довжина листя від 10 до 40 см. Найбільше листя знаходиться в середній частині стебла. Вони становлять 80% асиміляційної поверхні всієї рослини та зберігають свою активність після цвітіння тривалий час. Листя, і навіть суцвіття на початок цвітіння повертаються протягом дня протягом сонця від сходу захід, т.к. е. вранці вони спрямовані на схід і протягом дня повертаються через південь на захід [7-10]. Цим посилюється продуктивність фотосинтезу приблизно 10%.

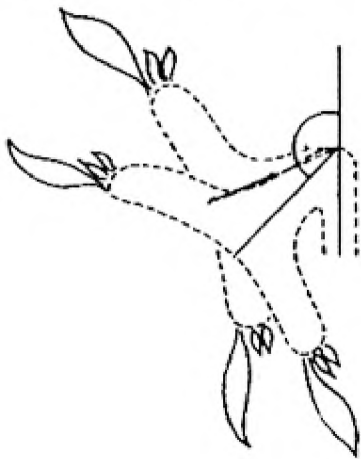


Рисунок 1.2 – Бажані кути нахилу стебел із кошиками

Суцвіття має коротку вісь і представляє кошик. Днище кошика рівне або злегка опукле і складається з серцевинної тканини, в якій розгалужуються судинні тканини стебла, що постачають квіти поживними речовинами.

На краю кошика знаходяться в 2-х ... 3-х рядах приквітки (рис. 3). Зовнішні квіти - стерильні язичкові з жовтими пелюстками – розміщуються в одному – двох рядах. Їхнє число незалежно від розміру кошика не більше 100. Більшість кольорів кошика - трубчасті. Залежно від розміру кошика їх кількість коливається від 1000 до 2000. Центр кошика гірше постачається поживними речовинами, тому в ньому в залежності від умов харчування більша або менша частина кольорів не запліднюється і залишається стерильною.

Цвітіння походить від краю до центру. Тривалість цвітіння окремого кошика - 5 ... 12 днів, всього стеблостої - близько 3 тижнів. Під час цвітіння кошики приймають стабільний напрямок на південний схід, що захищає сім'янки, що утворюються, від сильної інсоляції.

Запліднення рильця, як правило, перехресне. Це зумовлено тим, що пильовики звільняють пилок раніше, ніж приймочки досягають повного розвитку. Перехресне запилення на 99% відбувається комахами (бджолами, джмелями), запліднення вітром малоефективне [7-9].

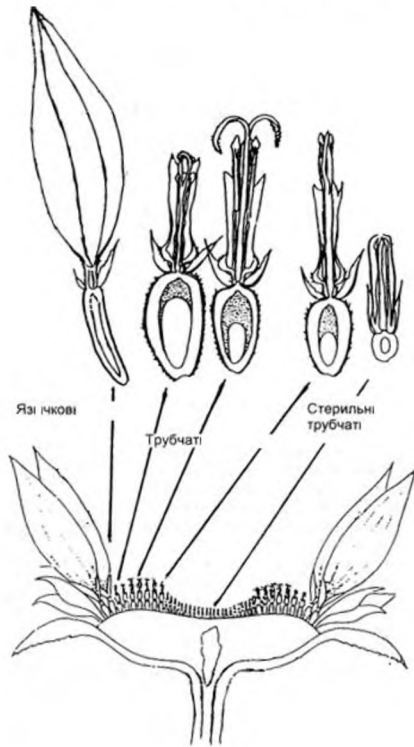


Рисунок 1.3 – Будова кошика та квіток

Плід соняшника – горіхоподібна сім'янка. Від справжнього горіха відрізняється тим, що насіннева і плодова шкірка у неї зрослася і утворює твердий перикарп, навколишній зародок і сильно розвинені сім'ядолі, в яких накопичені олії та протеїни як запасні речовини (рис. 4).

За розміром та масою тисячі сім'янок (МТС) відрізняють два типи соняшника:

- олійний - з дрібною сім'янкою (МТС 40...200 г, у сучасних гібридів і сортів, як правило, 50...70 г) і вищим вмістом олії (42...55%); шкірка у них, як правило, відносно тонка та чорного кольору;

- поживний - з більшою сім'янкою (МТС 100...200 г) і нижчим вмістом олії (до 30%); шкірка, як правило, більш товста. Насіння по краю кошика більші і містять більше олії, ніж розташовані ближче до центру. Після збирання сім'янки перебувають 40...50 днів у періоді спокою.

Соняшник - фотоперіодично нейтральна рослина, але є генотипи, що виявляють амбіфотоперіодичну реакцію, тобто у них короткий (< 11 год.) та довгий (> 14 год.) день. Зазвичай більшість генотипів цей процес затягується і за довжині дня 11...14 годин створюються умови переходу в генеративну фазу. На перехід рослин у генеративну фазу впливає інтенсивність світла. За високої інсоляції цей перехід, як і цвітіння, відбуваються раніше [10-12].

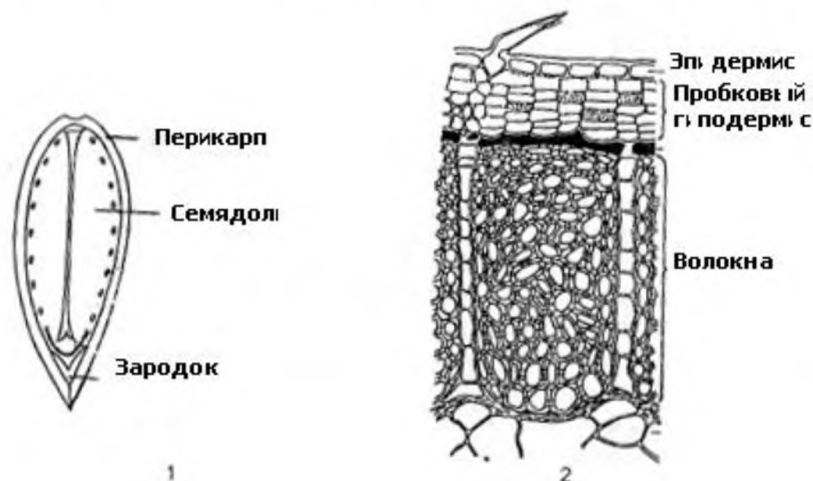


Рисунок 1.4 – Будова сім'янки (1) та розріз через перикарп (2)

Тривалість вегетаційного періоду у соняшнику становить від 150 до 170 днів. Соняшник проходить різні стадії росту та розвитку (див. Стадії розвитку соняшнику – код ВВСН). На період від сівби до появи сходів потрібно в залежності від ґрунтової температури від 7 до 20 днів. Після появи сходів до утворення 10-го аркуша передусім розвивається коренева система. Продуктування сухої маси сягає 10 кг/га/день. Цей період має тривалість 40 днів. У наступній фазі до цвітіння, коли сформувалася більша частина кореневої системи, відбувається основне зростання і найбільше поглинання поживних речовин та води. Освіта сухої маси сягає 200 кг/га/день. Тривалість цієї фази 35...40 днів. У період цвітіння після запліднення починається налив насіння. До утворення квіткових бутонів асиміляти переважно спрямовані в кореневу систему та нижню частину рослини.

## 1.2. Особливості сушіння насіння соняшника

Основною олійною культурою в Україні є соняшник. Свіжозібране насіння соняшника відрізняється дуже низькою стійкістю при зберіганні, особливо при високій вологості, температурі та засміченості. При зберіганні насіння хімічним змінам насамперед піддаються жири, та був білкові речовини [7-10].

Насіння високоолійного соняшника надійно зберігається, якщо вологість їх не перевищує 7%, а температура знижена до 10°C і нижче. При вологості вище критичної та температурі 20...25°C, характерної для свіжосформованих партій насіння соняшника, у насипу насіння починається бурхливий розвиток мікроорганізмів, інтенсивно йдуть гідролітичні та окислювальні процеси, що призводить до швидкого погіршення якості насіння соняшнику як олійної сировини. Навіть кілька годин зберігання свіжоприбраного насіння високоолійного соняшника вологістю вище критичної призводить до масового самозігрівання та псування, що унеможлиблює отримання олії високих сортів.

Самозігрівання соняшника розвивається дуже швидко і призводить до повного псування насіння, зростання кислотного числа олії до 30...35 мг КОН на 1г жиру. Серед причин самозігрівання - засміченість (при зберіганні в одних і тих же умовах вологість органічної домішки майже в 2 рази вище вологості насіння), а також наявність мікроорганізмів у насінневі масі, переважно неспоротворних епіфітних бактерій та цвілевих грибів [13].

При надходженні в короткі терміни великої кількості вологого та сирого соняшника, висушити його в потоці не завжди є можливим. У зв'язку з цим доцільно застосовувати різні способи підвищення стійкості свіжоприбраного насіння соняшнику, серед них - активне вентилявання. Терміни тимчасового зберігання та режими вентилявання встановлені відповідними інструкціями. За наявності насіння соняшника, що різняться за олійністю, формують партії насіння за групами олійності [10-12].

На тривале зберігання до переробки слід закладати насіння соняшнику із засміченістю не вище 2 %, просушене до критичної вологості (6...7 %) та

охлаоджене до низьких позитивних температур. Тривалість зберігання за таких умов становить 3...6 міс., якщо температура просушеного насіння перед закладкою на зберігання або протягом перших 15 діб зберігання знижена до 0...10°C.

Насіння соняшника вологістю нижче 12%, що очікує на сушіння, можна тимчасово розмістити в складах, обладнаних установками для активного вентилявання, а з вологістю вище 12% необхідно сушити негайно.

Насіння соняшника, що йде на переробку, сушать, як правило, до вологості 7-8%, а призначені для тривалого зберігання - до 6-7%. Перед подачею насіння в шахтну сушарку їх необхідно очистити від великих домішок у ворохоочиснику або в сепараторі з наступним набором сит: приймальне - з отворами Ø16 ... 20 мм, сортувальне - з отворами Ø10 ... 12 мм, розвантажувальне - з отворами 10 ... - з отворами розміром 2,5x20 мм. Легкі домішки відокремлюють у пневмосепаруючих каналах повітряним потоком зі швидкістю 4...6 м/с.

Режими сушіння насіння соняшника залежать від їх початкової вологості та способу сушіння та регламентуються інструкцією з сушіння [8]. Технологічна цінність насіння соняшника визначається його олійністю. Тому важливо зберегти кількість та якість олії. У процесі сушіння може відбуватися синтез, або розпад жирових компонентів. Спрямованість цих перетворень залежить від вологості насіння, від температури та тривалості їх нагріву. При оптимальних режимах сушіння вміст олії в насінні соняшника збільшується. В олію переходять супутні речовини, що містяться в насінні: фосфатити, каротиноїди, стероли, воскоподібні речовини.

Оскільки при зазначених режимах насіння соняшника можна сушити в сушарках різних типів, розглянемо коротко їх особливості.

У шахтних зерносушарках сушать до 90% насіння соняшника, що заготовлюється. Високо-вологе насіння в цих агрегатах піддаються дво-, а іноді і триразовому сушінню, при цьому порушується потоковість обробки, що значно ускладнює роботу з новонародженим насінням. Через нерівномірність руху насіння по перерізу шахт при їх продуванні агентом сушіння спостерігається

велика нерівномірність нагріву насіння: біля стінок шахт вони рухаються повільніше, ніж у середині, при цьому нерівномірність нагріву досягає більше  $10^{\circ}\text{C}$ . Якщо ж насіння містить бур'ян, то можливе засмічення шахт і нерідко загоряння сушарки. Тому не допускається сушіння насіння без їх попереднього очищення [10-12].

При пуску сушарки температуру агенту сушіння слід встановити не вище  $80^{\circ}\text{C}$ . За наявності в насінні соняшника бур'янової та олійної домішки понад 5% гранично допустима температура агенту сушіння має бути знижена на  $10^{\circ}\text{C}$  у кожній зоні. При сушінні насіння соняшника необхідно стежити за постійним завантаженням надшахтних бункерів, не допускаючи зниження рівня насипу нижче 1м. Не рідше одного разу на три дні треба звільняти сушарки від насіння, ретельно очищати їх від сміття та продувати атмосферним повітрям.

З усіх зерносушарках шахтного типу краще використовувати для сушіння насіння соняшника спарені сушарки, наприклад ДСП-32-ОТх2. Вони дозволяють сушити насіння за різними технологічними схемами в залежності від початкової вологості та необхідного знімання вологи. Так, за порівняно невисокої початкової вологості (до 14%) насіння соняшника можна висушити за одну перепустку за схемою сушіння-охолодження. Обидві зерносушарки працюють паралельно. При вологості насіння від 14 до 20 % доцільним є послідовний пропуск насіння через обидві сушарки за схемою сушіння-відлежка-сушіння-охолодження (вентилятор зони охолодження першої сушарки - відключений). При вологості насіння вище 20% охолоджувальну шахту першої зерносушарки можна використовувати як сушильну, підключивши її до топки.

Потрібно звернути увагу, що при недостатній пропускній здатності сушарки може спостерігатися перегрів насіння соняшника. Так, за даними [7-8], навіть у температурних режимах  $80$  та  $145^{\circ}\text{C}$ ;  $90$  і  $145^{\circ}\text{C}$  при недостатньому пропуску насіння через сушарку вони нагрівалися до температури  $62$  і  $58^{\circ}\text{C}$ . І навпаки, при більш жорсткому температурному режимі ( $120$  і  $140^{\circ}\text{C}$ ) насіння соняшнику з початковою вологістю 21,8% висушували до 8,6% при пропускній здатності 15,4 т/год і при цьому нагрівалися до температури  $45^{\circ}\text{C}$ .

Модернізація сушарок. Нерівномірність нагріву насіння горизонтального перерізу в зоні максимального нагріву насіння коливається в досить широких межах - від 40 до 70°C. Насіння має найбільшу температуру нагріву в пристінних зонах, що йдуть паралельно коробам, що призводить до перегріву насіння, їх пересушування і навіть загоряння. Це тим, що у пристінних зонах відстань між крайніми коробами і стінкою сушарки приблизно 2 рази менше, ніж між коробами. Крім того, при завантаженні насіння в сушарку відбувається їх самосортування. Більш легкі компоненти стікають до стінок сушарки, що додатково зменшує швидкість руху насіння соняшника у пристінній зоні.

Тому, з метою покращення роботи шахтних сушарок та якості просушеного насіння соняшника рекомендується заздалегідь здійснити низку заходів [11-13]. Пристінні ряди повітророзподільних коробів замінюють на напівкороби з установкою їх відстані 100...115 мм від стінок. Для виключення перегріву насіння над розсікачем сушального бункера, розташованого над повітророзподільною камерою, встановлюють горизонтальну металеву перегородку. Враховуючи знижену сипкість і малу щільність насіння соняшника, завантажувальні самопливні труби Ø220 мм замінюють на труби Ø300 мм і встановлюють їх під кутом не менше 60°C. Для зменшення самосортування насіння їх у сушальний бункер подають через 4...5 самопливних труб.

Рециркуляційні зерносушарки в порівнянні з прямоточними забезпечують можливість одночасного сушіння насіння різної вологості за одну перепустку та мають більш високі техніко-економічні показники.

Сушіння насіння соняшника в рециркуляційних сушарках треба доручати найдосвідченішим працівникам. У рециркуляційних сушарках з камерою нагріву, розташованої над тепло-вологодобмінником, рівень насіння соняшника слід підтримувати нижче звичайного (відстань від нижньої кромки камери нагріву до поверхні зернового насипу має бути не менше 1,2 м). Не можна допускати припинення подачі насіння соняшника, що рециркулює, в камеру нагріву при працюючій топці.

Технологія сушіння зерна рециркуляційних зерносушарок з камерами нагріву в падаючому шарі полягає в чергуванні короткочасного нагріву (2...3 с) суміші насіння у висхідному потоці агента сушіння при температурі 250...350°C, відлеження нагрітої суміші насіння, подальшому охолодженні та рециркуляції. . За один цикл сушіння випаровується порівняно невелика (близько 2%) кількість вологи. Одночасно з сушінням насіння очищається від бур'яну домішки [13].

Високотемпературне сушіння насіння соняшника в рециркуляційних зерносушарках благотворно позначається на показниках якості олії. Так, за даними [9], при нагріванні насіння в сушарці до 60 ... 70 ° С відбувається зниження кислотного числа, а при нижчих температурах нагріву (до 50 ° С) - деяке збільшення кислотного числа олії. Однак кислотне число олії знижується при температурах понад 70°C, і зниження цього показника тим більше, чим вище температура нагрівання насіння. Потрібно відзначити, однак, що при більш високих температурах нагріву насіння відбувається збільшення травмування через пересушування плодової оболонки. Насіння соняшника з порушеною плодовою оболонкою погано зберігається і швидко псується.

До недоліків рециркуляційних зерносушарок з камерами нагріву в шарі, що падає, відноситься їх підвищена пожежонебезпека. Займання може статися при температурі агента сушіння 205°C і вище в тому випадку, якщо в камеру нагрівання з олійним пилом, що накопичилася на стінках, потрапить іскра.

З рециркуляційних зерносушарок, які не мають спеціальних підігрівачів для нагрівання насіння, доцільно використовувати зерносушарку А1-ДСП-50 Карлівського машзаводу (Полтавська обл.). Ця сушарка може працювати і як прямоточна за необхідності зняти до 6% вологи. Цим підприємством в останні роки випущено низку нових зерносушарок аналогічної конструкції з продуктивністю 10, 20 і 25 пл.т/год, що забезпечують потокове сушіння за хороших техніко-економічних показників роботи.

Модернізація сушарок. Для зниження пожежонебезпечності рециркуляційних зерносушарок при сушінні насіння соняшника необхідно: 1) не допускати накопичення олійного пилу в камері нагріву та усунути попадання

іскор з топки в камеру нагріву; 2) рівномірно розподіляти насіння по всьому перерізу камери нагріву за максимального завантаження рециркуляційної норії. З цією метою рекомендується [11-13] зерносушарки постачати пожежобезпечну камеру нагріву змінного перерізу з гальмівними елементами у вигляді конусів на гнучких підвісках (у камерах нагріву з гальмівними елементами у вигляді труб наварити знизу вздовж кожної труби дві сталеві стрічки під кутом 45(одна до однієї) і використовувати двоконтурну схему охолодження, в топці сушарки встановлювати іскрогасник, а в рециркуляційну шахту подавати агент сушіння з температурою  $100 \pm 10^{\circ}\text{C}$ , забезпечивши таким чином рециркуляційно-ізотермічний режим сушіння. Насіння. Самопливні труби монтують під кутом  $60^{\circ}$ , а їх діаметр повинен бути на 25% більше, ніж для колосових культур. сушіння насіння соняшника та забезпечити стійку, пожежобезпечну роботу сушарки.

В [10] зазначається, що високотемпературне сушіння насіння соняшника з вологості 29,9% до 7% на модернізованій зерносушарці з двоконтурним охолодженням при температурах сушильного агента  $304\text{...}310^{\circ}\text{C}$  забезпечила нагрівання насіння соняшнику в діапазоні  $58\text{...}61^{\circ}\text{C}$ . При цьому кислотна кількість олії на 0,19...0,22 мг КОН, ефективність очищення насіння в сушарці склала 53...64%, продуктивність зерносушарки зросла з 28 до 46,5 пл.т/год, а витрати умовного палива знизилися на 1, 2 кг. За таких режимів було просушено 6000 т насіння та не спостерігалось жодного випадку загоряння сушарки чи відходів у бункері.

Для сушіння насіння соняшника в масложировій промисловості застосовують барабанні сушарки з диференційованими режимами сушіння, залежно від вологості насіння. Температура агента сушіння повинна бути тим вищою, чим вище вологість насіння. Великими недоліками застосування барабанних сушарок є часткове розтріскування лушпиння та обвалення насіння, низький знімання вологи за один пропуск через сушарку, низька продуктивність.

Сушіння насіння в барабанних сушарках відбувається в шарі насіння, що пересипається, при його продуванні агентом сушіння. У барабанних сушарках температура агента сушіння в залежності від вологості насіння та продуктивності

підтримується на рівні 250...350°C, на виході з сушарки - 50...80°C. Середня тривалість перебування насіння у сушарці 14...17 хв.

У барабанній сушарці сушіння протікає швидше, ніж у шахтній, але коефіцієнт заповнення об'єму барабана насінням становить 20 ... 25%, у зв'язку з чим кількість вологи, що випаровується в 1 м<sup>3</sup> простору барабана, менше, ніж у шахтній зерносушарці.

Жорсткі режими сушіння, різний час перебування насіння соняшника в барабанних сушарках викликають нерівномірне нагрівання та сушіння, збільшення лушпиння та кислотного числа жиру, підвищену витрату палива.

Модернізацію барабанних зерносушарок проводять за різними схемами [12]. Одна з них полягає у зміні внутрішньої насадки барабана. Друга дозволяє організувати поперечну продування шару насіння (знизу вгору) з утворенням киплячого шару. Запропоновано також спосіб сушіння насіння соняшника в шарі, що пересипається, в барабанній сушарці з каналною насадкою, яка дозволяє отримати необхідний знімання вологи за один прохід при будь-якій початковій вологості і значно зниженому травмуванні насіння.

Для сушіння насіння соняшнику застосовують бункери СЗЦ-1,5, БВ-25, ОБВ-100, ОБВ-50, К-878, К-839, оснащені установками активного вентиляювання та забезпечені двосекційними електропідігрівачами (калориферами) повітря. При відносній вологості від 75 до 80% може включатися тільки одна з секцій калориферів, а при більшій 80% регулятори підключають обидві секції і вони працюють одночасно. Можливе активне сушіння насіння соняшника у вентиляюваних бункерах за допомогою повітрянагрівачів ВПТ-600, ТАУ-0,75 та ін. При цьому приєднують брезентовий рукав до двох або одного бункер так, щоб на 1 т насіння припадало близько 500 м<sup>3</sup>/год агенту сушіння.

Перевагою вентиляюваних бункерів є їхня простота та доступність. Вони вимагають великих капіталовкладень, мають великий термін служби. Застосування м'яких режимів сушіння запобігає травмуванню насіння, що особливо важливо для насіння соняшника.

До недоліків можна віднести велику тривалість сушіння, значну нерівномірність сушіння по вологості між шарами (різномісність насіння по вологості сягає 1,5...3,5%), невелику продуктивність. Для ліквідації цих недоліків при сушінні насіння соняшника у вентилятованих бункерах використовують два варіанти.

При першому варіанті через кожні 3,5...4,0 год сушіння (початкова вологість насіння 9...13 %) зупиняють вентилятор, і насіння переміщують у тому бункері випуском їх протягом 10...15 хв із бункера і напрямом у той самий бункер. Потім процес сушіння продовжується. При другому варіанті використовуються два бункери. У першому бункері сушать насіння протягом 2,5...3,5 год, потім переміщують в інший бункер, де сушіння продовжують протягом 3...4 год.

При післязбиральній обробці насіння соняшника травмується. Високоолійні насіння соняшнику більш схильні до травмування, ніж низькоолійні, так як їх оболонка тонша і має меншу міцність. Встановлено ступінь травмування насіння високоолійного соняшника під час переміщення різним обладнанням [10-13]. Найбільше насіння соняшника травмується на поворотах самопливних труб, норіях і шнеках. Так, при проходженні повороту в самопливній трубі під кутом  $10^\circ$  (до повороту довжина труби 7 м) збільшення травмованого насіння склало 0,2...0,4% від загальної маси насіння соняшника, при транспортуванні в норіях зі швидкістю стрічки 2,2... 2,5 м/с - від 0,6 до 3,0%, у шнеку - від 1,2 до 6%. У зв'язку з цим при сушінні насіння соняшника в рециркуляційних зерносушарках необхідно: прагнути по можливості скорочувати число циклів рециркуляції переведенням сушарок на рециркуляційно-ізотермічну сушку, усувати круті повороти в трубопроводах, пом'якшувати удари при завантаженні норії — подавати насіння по ходу норійної стрічки 2,0 м/с, встановлювати гасники при скиданні насіння з великої висоти.

### 1.3. Висновки, мета та завдання дослідження

На основі проведеного огляду літературних джерел на тему цієї роботи можна зробити ряд висновків:

- процес післязбирального обробітку технічних сільськогосподарських культур є надзвичайно енергозатратним, зокрема багато ресурсів потребує операція сушіння;

- технічні, зокрема олійні культури мають ряд біологічних особливостей, що потребує формування спеціальних режимів сушіння;

- з технічної точки зору існує досить багато типів сушарок, що застосовуються для зневоднення насіння, зокрема соняшнику, однак процеси завантаження-вивантаження сушильних камер потребують вдосконалення та розробки ефективних механізмів.

Метою роботи є підвищення ефективності та зниження загальних витрат на процес сушіння насінневого матеріалу технічних культур за рахунок розробки та використання вдосконалених систем завантаження-вивантаження сушильних камер сушарок сільськогосподарського призначення.

Завдання дослідження:

- дослідити насіння технічних культур, зокрема соняшнику, як капілярнопористе-колоїдне тіло, що піддається конвективному сушінню;

- встановити та проаналізувати відомі методи та засоби сушіння технічних культур, виокремити переваги існуючих технологій та встановити недоліки;

- теоретично обґрунтувати методіку розрахунку процесу сушіння технічних культур;

- експериментально дослідити фізико-механічні властивості насіння соняшнику, як об'єкта сушіння;

- дослідити кінетику сушіння насіння трав з використанням відомих досліджень та технологій;

- розробити вдосконалену схему сушіння насінневого матеріалу з системою завантаження-вивантаження сушильних камер на основі гнучких шнеків.

## РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ ЗЕРНОВИХ ТА МЕТОДІВ ЇХ ЗАВАНТАЖЕННЯ-ВАВАНТАЖЕННЯ ІЗ СУШАРКИ

### 2.1 Основи теорії процесу сушіння технічних сільськогосподарських культур

Існує два принципи видалення вологи: без випаровування та з випаровуванням її. Перший принцип-це фільтрація, пресування, центрифугування, тобто механічні способи або сорбційний спосіб (змішування з вологопоглинаючою речовиною) застосовується або при дуже великому перезволоженні, або при нетерпимості насіння до нагрівання (квасоля, соя, вика, сочевиця).

Другий принцип це теплова сушка. До нього входять такі способи, як конвективний, кондуктивний або контактний, радіаційний, електричний, молекулярний, комбіновані.

Конвективний спосіб - це нагріте повітря, частіше в суміші з топковими газами, званий агентом сушіння, проходить крізь матеріал і відіграє роль теплоносія та вологопоглиначка.

Кондуктивний або контактний спосіб - це коли матеріал контактує з нагрітою металевою поверхнею. Радіаційний спосіб - це сушіння сонячними променями або інфрачервоними променями штучного походження.

Електричне сушіння - це застосування ТВЧ. Матеріал є діелектриком, його поміщають між двома пластинами (обкладками конденсатора), поле ТВЧ поляризує його молекули, наводить їх у коливальний рух, нагріває, і волога випаровується.

Молекулярне сушіння, або сублимація, проводиться у глибокому вакуумі. Випаровування вологи призводить до втрати тепла і до заморожування. Волога, що залишилася, виходить кристаликами на поверхню, починають підігрівати матеріал, і волога випаровується, минаючи рідку фазу.

Найбільш поширений конвективний спосіб, тому що він дає найкращу

рівномірність нагріву всіх шарів матеріалу, обладнання нескладне, енерговитрати порівняно невеликі тому, що ККД вище, ніж в інших способів. Розглянемо зерносушарки, що працюють за цим способом.

Конвективний метод має багато конструктивних реалізацій. Сушіння зерна в нерухомому шарі характеризується тим, що швидкість зерна дорівнює нулю, а швидкість повітря менша за швидкість витання. Це порівняно невеликі та прості установки, вони мало поширені через нерівномірність нагрівання зерна, непридатність до потокового виробництва, оскільки є установками періодичної дії. Це сушарки стелажні, лоткові, камерні, стрічкові, платформні, жалюзійні, бункери, що вентилуються.

Сушіння зерна в рухомому шарі. При цьому способі швидкість зерна більша за нуль, швидкість теплоносія менша за швидкість витання. Установки для сушіння зерна у рухомому шарі найпоширеніші. Це шахтні та барабанні сушарки, рідше – вібраційні.

Сушіння зерна в «киплячому» шарі проводиться в аерофонтанних сушарках і в сушарках з псевдозрідженим станом зерна. Аерофонтанна сушарка має робочу камеру у формі зрізаного конуса, що розходиться догори. Теплоносій та зерно подаються знизу. Швидкість повітря внизу вища, а нагорі нижча швидкість витання. Повітря піднімається по центру і захоплює зерно, яке опускається по конусу, що утворює. Зерно захоплюється у вихровий рух і в міру підсихання втрачає вагу і піднімається вихором усе вище, доки не виноситься повітрям за межі камери. Недолік таких сушарок – нерівномірність сушіння. Сушарки із псевдозрідженим шаром зерна мають більш рівномірний процес. Вологе зерно подається на решето, що продувається теплоносієм. При швидкості повітря близько 2 м/с тиск шарів один на одного майже зникає, підйомна сила повітря приводить зерно в стан, що нагадує кипіння, тобто псевдозріджений стан. Висушені зерна групуються у верхньому шарі і виходять із сушарки. Сушіння відбувається швидко: за 11 хвилин вологість знижується з 25 до 18%.

Сушіння зерна у зваженому стані відбувається у пневмотрубах під час

транспортування. Швидкість повітря набагато більша за швидкість витання, його температура 250...260°, тривалість сушіння 5...6 секунд, вологість знижується приблизно на один відсоток, а зерно встигає прогрітися до 35°.

За агротехнічними вимогами, на тривале зберігання засипається зерно з вологістю до 14%. Вологість свіжоприбраного зерна нерідко становить 20...30%. Для природного сушіння зерно розсипають шаром 10...15 см і періодично перелопачують або перекидають зернопультотом. Природне сушіння застосовують, якщо вологість зернової суміші не перевищує 20%. Вологіше зерно сушать у сушарках.

У барабанних сушарках температура теплоносія 180...220° для продовольчого зерна та 100...160° для насіння. Нагрів продовольчої пшениці не повинен перевищувати 55 °, а насіннєвий - 48 °. У шахтних сушарках температура теплоносія 100...140°, продовольче зерно можна нагрівати до 50°, насіннєве – так 45°, тобто дещо нижче, ніж у барабанних, оскільки тривалість перебування зерна у нагрітому стані тут вища.

За один пропуск дозволяється зменшити вологість не більше, ніж на 6...8%. Але це орієнтовні умови, які уточнюються залежно від культури та тривалості процесу сушіння.

З багатьох фізичних властивостей зерна, що впливають на вибір параметрів сушіння (наприклад, теплоємність, теплопровідність, температуропровідність, що вологу віддає здатність і т.д.), виділимо його гігроскопічність, яка визначає дуже важливий показник - рівноважну вологість зерна. Рівноважна вологість – це стійка гранична вологість, якої прагне зерно при даній відносній вологості повітря. Для зерен злакових культур рівноважна вологість за температури повітря 15° характеризується табл.1.1.

Якщо, наприклад, відносна вологість повітря в період збирання коливається від 80 до 85%, то за допомогою вентилявання зовнішнім повітрям неможливо знизити вологість зерна до 14%, тому що для цього потрібне повітря з вологістю близько 70%. Якщо природне сушіння неможливе, то застосовують сушарки.

Таблиця 1.1 - Взаємозв'язок відносної вологості повітря та рівноважної вологості зерна

Відносна вологість повітря, %	20	30	40	50	60	70	80	90	92
Рівноважна вологість зерна, %	7	9	11	12	13	14	16	20	біля 40

Процес сушіння полягає в підведенні тепла до матеріалу, що висушується, і випаровуванні води з нього в навколишнє середовище. У сушарках конвективної дії докільям служить агент сушіння - суміш топкових газів з повітрям або підігріте в калорифері повітря.

Статика процесу сушіння вивчає взаємодію вологих матеріалів з агентом сушіння незалежно від часу. Процес переміщення води від матеріалу, що висушується до агента сушіння або від агента сушіння матеріалу (вологообмін) залежить від фізико-хімічних властивостей обох компонентів.

Важливою властивістю в цьому процесі є гігроскопічність матеріалу, тобто здатність його віддавати та поглинати воду. Вологий матеріал, перебуваючи в сухому агенті сушіння, поступово віддає йому частину води у вигляді пари, і навпаки, сухий матеріал може поглинати водяні пари з навколишнього агента сушіння.

Процес випаровування води з матеріалу (десорбція) може відбуватися в тому випадку, якщо парціальний тиск водяної пари у поверхні матеріалу більший, ніж тиск пари в навколишньому агенті сушіння.

В іншому випадку відбудеться поглинання водяної пари матеріалом з агента сушіння (сорбція). Якщо тиск пари у поверхні матеріалу та в агенті сушіння однаково, вологообмін між матеріалом та агентом сушіння не відбувається.

Такий стан називається рівноважною вологістю матеріалу. Якщо відносна вологість агента сушіння зростає, зростає і парціальний тиск пари в агенті

сушіння, отже, рівноважний стан порушиться і вологість матеріалу буде збільшуватися за рахунок сорбції вологи з агенту сушіння.

Поглинання матеріалом вологи з агенту сушіння може відбуватися лише до гігроскопічної вологості, під якою розуміється вологість матеріалу при повному насиченні вологого агенту сушіння (коли відносна вологість повітря дорівнює 100%).

Рівноважний стан порушується також за зниження вологості агенту сушіння. Вологість матеріалу при цьому зменшується за рахунок випаровування вологи в навколишній агент сушіння.

Зниження вологості матеріалу може відбуватися лише до тих пір, поки не вийде вільна (гігроскопічна) волога. Волога, фізико-хімічно пов'язана з матеріалом, залишається у ньому.

Процеси вологообміну між матеріалом та повітрям протікають повільно. Для прискорення процесу сушіння необхідно збільшувати парціальний тиск водяної пари біля поверхні матеріалу та зменшувати тиск пари у навколишньому середовищі. Досягається цей ефект нагріванням матеріалу та агенту сушіння.

Кінетика процесу сушіння розглядає взаємодію вологого матеріалу та агенту сушіння з урахуванням часу сушіння. Характеризувати процес сушіння у своїй доцільніше як графіків.

По осі абсцис (рис.2.1) відкладено час  $T$  сушіння, по осі ординат - вологість матеріалу, віднесена до маси сухої речовини  $W$ , і температура нагрівання матеріалу  $\tau$ . Крива 2 показує характер зміни температури матеріалу у часі.

Крива 1 характеризує зміну вологості в часі  $W=f(T)$ , з графіка можна отримати криву 3 зміни швидкості сушіння залежно від вологості матеріалу

$$\frac{dW}{dt} = f(T) \text{ (рис. 1.2).}$$

З підвищенням температури матеріалу волога з поверхні почне випаровуватися інтенсивніше. Концентрація її у внутрішніх шарах матеріалу

стане вищою, ніж на поверхні. Це спричинить переміщення вологи з внутрішніх шарів до поверхні матеріалу.

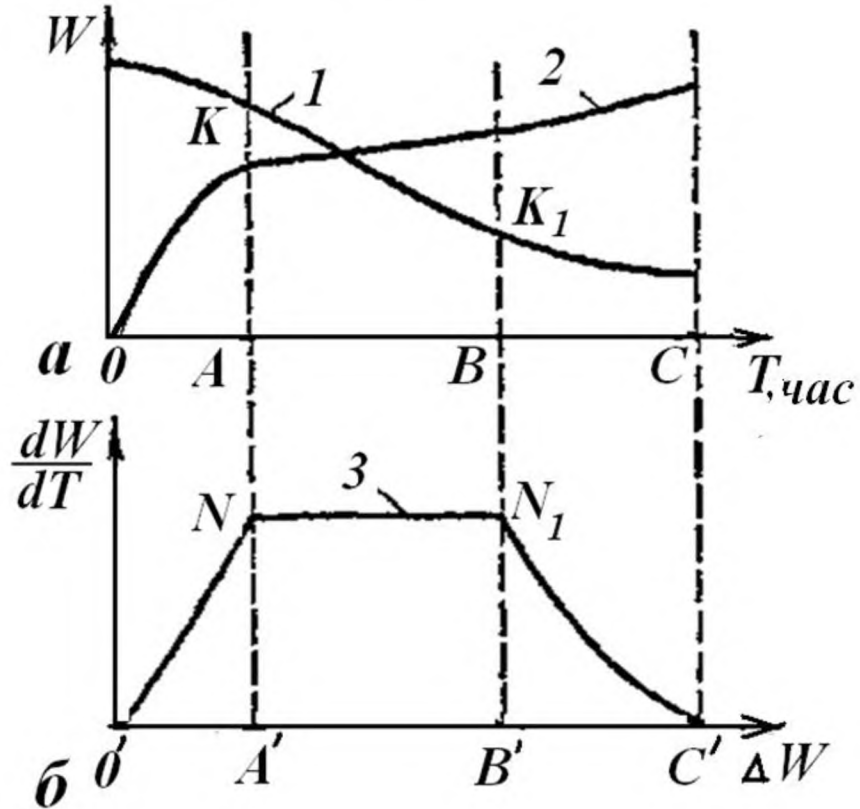


Рисунок 2.1 - Криві процесу сушіння: 1 – зміна вологості зерна за час  $T$ ;  
2 – зміна температури зерна під час  $T$

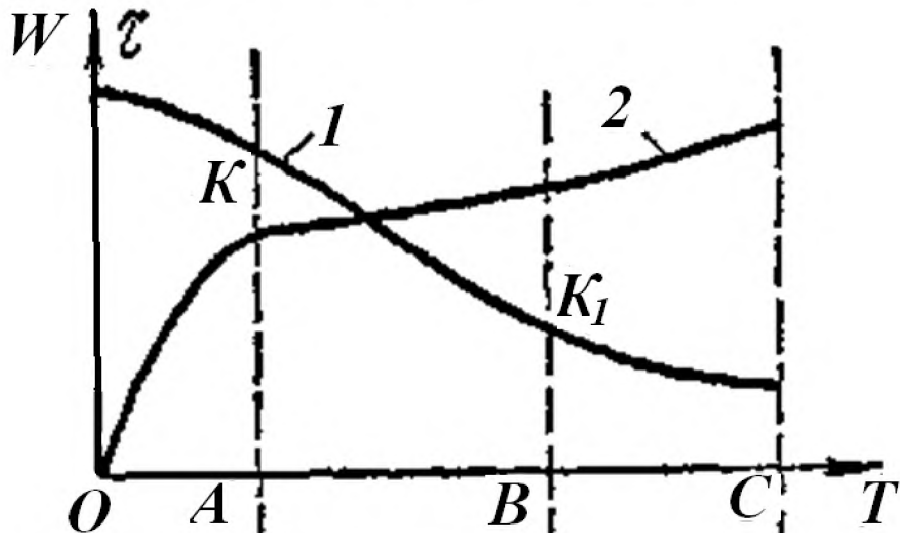


Рисунок 2.2 - Криві процесу сушіння: 1 – зміна вологості зерна за час  $T$ ;  
2 – зміна температури зерна під час  $T$

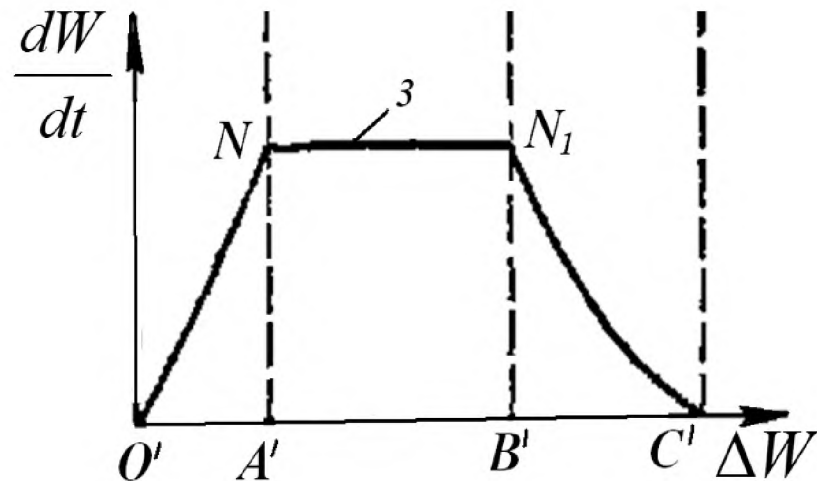


Рисунок 2.3 - Крива швидкості сушіння зерна

Процес сушіння можна поділити на три періоди. У період  $OA$  відбувається прогрів матеріалу; вологість його у період змінюється мало. Швидкість сушіння (крива 3) збільшується від 0 до максимального значення. У другий період  $AB$  волога з поверхні матеріалу випаровується аналогічно випаровування води з відкритої поверхні, тобто все тепло, що підводиться, витрачається на випаровування вологи.

Температура матеріалу залишається незмінною. Вологість матеріалу змінюється майже по прямій лінії  $KK_1$ . Тому швидкість сушіння  $\frac{dW}{dt}$ , яка визначається в кожній точці як тангенс кута нахилу дотичної до кривої сушіння 1, залишається постійною (горизонтальна пряма  $NN_1$ ).

У третій період  $BC$  вологість матеріалу повільно знижується. У міру витрати вологи із внутрішніх шарів матеріалу швидкість сушіння падає.

Настає невідповідність між кількістю вологи, що випаровується, з поверхні і надходить з внутрішніх шарів матеріалу.

Зменшення інтенсивності випаровування вологи з поверхні викликає підвищення температури матеріалу. Наприкінці періоду сушіння настає рівноважна вологість матеріалу, сушіння припиняється, швидкість сушіння стає рівною нулю.

Як зазначалося вище, температуру нагрівання зерна у процесі сушіння слід обмежувати, ніж порушувати його біологічні властивості. Допустима температура нагрівання залежить від вологості зерна і від тривалості витримки зерна в нагрітому стані. За С.Д. Птициним, вона розраховується за формулою:

$$\tau = \frac{2350}{0,37(100 - W) + W} + 20 - 10lqt \quad (2.1)$$

де -  $\tau$  допустима температура нагріву зерна, град.;

$W$  – відносна вологість зерна, %;

$t$  - тривалість знаходження зерна в нагрітому стані до необхідної температури, хв.

Графічно ця залежність виглядає сімейством спадних кривих (рис.2.4).

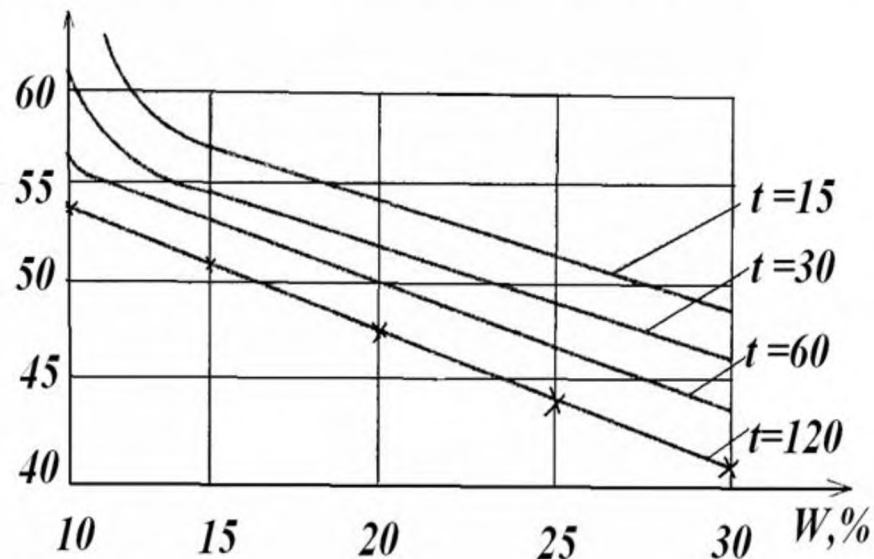


Рисунок 2.4 - Номограма визначення допустимої температури нагрівання залежно від вологості матеріалу і тривалості сушіння

Сушіння вологих матеріалів полягає в підведенні вологи з внутрішніх шарів матеріалу до його поверхні, випаровуванні вологи з поверхні матеріалу в навколишній агент сушіння і відведення водяної пари від матеріалу, що висушується.

У сушарках конвективного типу нагрітий газоподібний агент сушіння віддає висушується матеріалу тепло, необхідне для випаровування вологи, і

потім поглинає вологу, що випаровується з матеріалу.

Між агентом сушіння та матеріалом відбувається процес тепло- та вологообміну. Деякі закономірності найпростішої сушіння-випаровування води з поверхні матеріалу можна розглянути аналогічно до випаровування води з вільної поверхні:

$$m = k_B (P_{II} - P_{AC}) \frac{101,3 \cdot 10^3}{b}, \quad (2.2)$$

де  $m$  - швидкість випаровування води в кг з 1 м<sup>2</sup> поверхні;

$P_n$ ,  $P_{AC}$  - парціальний тиск водяної пари відповідно біля поверхні матеріалу і в навколишньому агенті сушіння, Па;

$b$  - барометричний тиск, Па;

$k_B$  — коефіцієнт вологообміну між поверхнею матеріалу та навколишнім агентом сушіння, що залежить від значення та напрямки швидкості руху агента сушіння щодо матеріалу, кг/(Н год).

Аналізуючи рівняння (2.2), можна побачити, що швидкість сушіння зростає зі збільшенням різниці парціальних тисків парів води лежить на поверхні матеріалу й у агенті сушіння  $P_{II} - P_{AC}$ . Збільшення  $P_{II} - P_{AC}$  можна досягти за рахунок зростання  $P_{II}$  у разі підвищення температури нагріву вологого матеріалу. Отже, швидкість сушіння збільшується при підвищенні температури матеріалу, що висушується до меж, що обмежуються його термостійкістю.

Збільшення різниці  $P_{II} - P_{AC}$  може бути досягнуто також зменшенням величини парціального тиску  $P_{AC}$ . Для цього необхідно зменшити відносну вологість агента сушіння.

Зі збільшенням поверхні випаровування за інших рівних умов зростає кількість води, що випаровується, в одиницю часу. Збільшення площі випаровування зернового вороху, а отже, і швидкості сушіння їх можна досягти при використанні розпушеного або зваженого шару.

При цьому зменшуються площі контактів окремих зерен і відповідно збільшується загальна активна площа тепло- та вологообміну. Розпушений та

зважений стан зернового шару використовується у вібраційних, аерофонтанних та пневмогазових сушарках.

Зі збільшенням барометричного тиску зростає парціальний тиск водяної пари, оскільки

$$b = P_{AC} + P_{C.B}, \quad (2.3)$$

$P_{C.B}$  - Парціальний тиск сухого повітря, Па.

Отже швидкість випаровування води з матеріалу при цьому зменшується. Для інтенсифікації процесу сушіння доцільно використовувати вакуумні сушарки.

У завдання розрахунку сушарок входить визначення кількості води, що видаляється, витрати теплоносія і витрати теплоти.

Сушарка складається з топки, сушильної камери та охолоджувача.

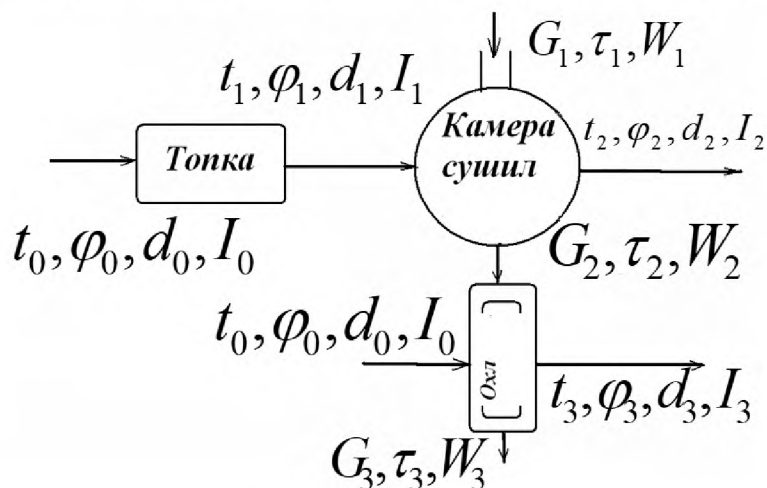


Рисунок 2.5 - Параметрична схема сушарки

Зовнішнє повітря надходить у топку з параметрами: температурою  $t_0^{\circ}\text{C}$ ; відносною вологістю,  $\phi_0$  %; вологовмістом,  $d_0$  г/кг сух. в. і тепломісткою (ентальпією),  $I_0$  кДж/кг. Змішуючись з топковими газами, повітря утворює теплоносієм, або агент сушіння, з параметрами  $t_1, \phi_1, d_1, I_1$ .

Одночасно з агентом сушіння в сушильну камеру надходить вологий матеріал з наступними параметрами:

$G_1$  - подача зерна або масова витрата, кг / год;

$\tau_1$  - температура, ° C;

$W_1$  - вологість, %.

У сушильній камері частина тепла агенту сушіння передається матеріалу, а волога матеріалу переходить в агент сушіння. В результаті тепло- та вологообміну параметри матеріалу при виході із сушильної камери стануть  $t_2, \phi_2, d_2, I_2$ ; а, агенту сушіння  $G_2, \tau_2, W_2$ .

В охолоджувальну камеру надходить зовнішнє повітря з параметрами.  $t_0, \phi_0, d_0, I_0$  В результаті взаємодії його з матеріалом при виході з охолоджувача параметри повітря змінюються на  $t_3, \phi_3, d_3, I_3$ , а матеріалу на  $G_3, \tau_3, W_3$ .

У процесі сушіння частина вологи з матеріалу випаровується.

$$W = G_1 - G_2, \quad (2.4)$$

де  $W$  - масова витрата вологи, що випарувалася в сушильній камері, кг/год.

Маса сухої речовини в процесі сушіння та охолодження залишається постійною

$$G_c = G_1 \frac{100 - W_1}{100} = G_2 \frac{100 - W_2}{100} = G_3 \frac{100 - W_3}{100} \quad (2.5)$$

Рівняння (2.5) називають рівнянням балансу матеріалу. З рівняння (2.5) можемо визначити масу матеріалу при виході з сушильної камери (кг/год)

$$G_2 = G_1 \frac{100 - W_1}{100 - W_2} \quad (2.6)$$

Підставивши значення  $g_2$ , отримаємо масовий витрата вологи, (кг/ч)

$$W = G_1 - G_2 \frac{100 - W_1}{100 - W_2} = G_1 \left( 1 - \frac{100 - W_1}{100 - W_2} \right) \quad (2.7)$$

Втрата маси матеріалу в процесі сушіння визначається з виразу в %

$$D = \frac{G_1 - G_2}{G_1} 100\% = \frac{W}{G_1} 100\% = \frac{W_1 - W_2}{100 - W_2} 100\% \quad (2.8)$$

Волога, що випарувалася з матеріалу, в процесі сушіння поглинається агентом сушіння. Отже, загальна кількість вологи, що надійшла в сушильну

камеру і що вийшла з неї після сушіння, залишається постійною.

Рівняння балансу вологи записується у наступних співвідношеннях:

$$G_1 \frac{W_1}{100} + L \frac{d_1}{1000} = G_2 \frac{W_2}{100} + L \frac{d_2}{1000}, \quad (2.9)$$

кількість вологи, що надійшла в сушильну камеру і вийшла з неї з матеріалом

де  $G_1 \frac{W_1}{100}$  і  $G_2 \frac{W_2}{100}$  - відповідно кількість вологи, що надійшла до сушильної камери і що вийшла з неї з матеріалом;

кількість вологи, що відповідно надійшла в сушильну камеру і вийшла з неї з агентом сушіння,  $L$

де  $L \frac{d_1}{1000}$  і  $L \frac{d_2}{1000}$  - кількість вологи, що відповідно надійшла в сушильну камеру і вийшла з неї з агентом сушіння, а  $L$  витрата сухого агента сушіння, кг/год.

Після деяких перетворень отримаємо масовий витрата вологи, що випарувалася  $W$ :

$$G_1 \frac{W_1}{100} - G_2 \frac{W_2}{100} = L \frac{d_1 - d_2}{1000} = W, \quad (2.10)$$

З виразу (2.10) визначаємо масова витрата сухого агента сушіння  $L$ .

$$L = \frac{1000W}{d_2 - d_1} \quad (2.11)$$

Питома витрата сухого агента сушіння, віднесена на 1 кг вологи, що випарувалася, складе:

$$l = \frac{L}{W} = \frac{1000}{d_2 - d_1}, \quad (2.12)$$

де -  $l$  питома витрата сухого агента сушіння на 1 кг випареної вологи, кг.

Для розрахунку витрати теплоти спочатку представимо ідеальну сушарку, в якій немає теплових втрат. Витрата тепла  $Q$  на сушіння матеріалу в такій сушарці дорівнює витраті тепла на нагрівання агента сушіння:

$$Q = LI_1 - LI_0 = L(I_1 - I_0), \quad (2.13)$$

$I_0, I_1$  - тепловміст (ентальпія) відповідно зовнішнього повітря та агента сушіння при надходженні його в сушильну камеру.

Питома витрата тепла  $q$  на 1 кг випареної вологи дорівнює:

$$q = \frac{Q}{W} = \frac{L}{W}(I_1 - I_0) \text{ кДж / кг}, \quad (2.14)$$

У дійсній сушарці завжди буде додаткова витрата тепла на нагрівання матеріалу, втрати в навколишнє середовище, крім того, в сушильній камері матеріал може нагріватися від додаткового джерела тепла.

Тому рівняння балансу тепла дійсної сушарки загалом запишеться так:

$$LI_0 + Q + G_2 c_2 \tau_2 + cW \tau_1 + Q_D = LI_2 + G_2 c_2 \tau_2 + Q_{0.CP} \quad (2.15)$$

У лівій частині рівняння вказано кількість теплоти, що надходила до сушильної камери, у тому числі:

$LI_0$  - із зовнішнім повітрям, а  $Q$  - з агентом сушіння;

$G_2 c_2$  - з матеріалом;  $cW$  - з вологою, що випарувалася з зерна;

$Q_D$  - від додаткового джерела (оскільки в більшості сучасних сушарок додатковий джерело тепла відсутня, надалі він нами не буде враховуватися, тобто  $Q_D = 0$ );

$c, c_2$  - теплоємність відповідно води та зерна, кДж/кг °С.

У правій частині рівняння зазначена витрата тепла:

$LI_2$  - з відпрацьованим агентом сушіння;

$G_2 c_2$  - з висушеним зерном;

$Q_{0.CP}$  - на втрати в довкілля через стінки сушильної камери.

З рівняння балансу тепла визначимо витрати тепла на нагрівання агента сушіння  $Q$  (на сушіння матеріалу):

$$Q = L(I_2 - I_0) + G_2 c_2 \tau_2 + Q_{0.CP} - G_2 c_2 \tau_1 - cW \tau_1 \quad (2.16)$$

Питома витрата теплоти на сушіння зерна:

$$q = \frac{Q}{W} = l(I_2 - I_0) + \frac{G_2}{W} c_2 \tau_2 + q_{0.CP} - \frac{G_2}{W} c_2 \tau_1 - c \tau_1 \quad (2.17)$$

Після деяких змін можна записати в наступному вигляді:

$$q = l(I_2 - I_0) - \left[ c\tau_1 - \left( \frac{G_2}{W} c_2 \tau_2 - \frac{G_2}{W} c_2 \tau_1 + q_{o.cp} \right) \right]. \quad (2.18)$$

Вираз  $\frac{G_2}{W} c_2 \tau_2 - \frac{G_2}{W} c_2 \tau_1 = \frac{G_2}{W} c_2 (\tau_2 - \tau_1) = q_M$  назвемо питомою витратою тепла на нагрівання матеріалу, тоді  $q = l(I_2 - I_0) - [c\tau_1 - (q_M + q_{o.cp})]$ .

Втрати тепла в доквілля визначаються за відомою формулою для теплопередачі

$$q_{o.cp} = \frac{F}{W} k_0 (t_{cp} - t_0), \quad (2.19)$$

де  $F$ -площа поверхні сушильної камери, м<sup>2</sup>;

$k_0$  - загальний коефіцієнт теплопередачі від агента сушіння в доквілля через

стілки сушильної камери  $\frac{\text{кДж}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{град}}$ .

$t_{cp}$  - середня температура агента сушіння, градусів

$$t_{cp} = 0,5(t_1 + t_2) \quad (2.20)$$

$t_0$  - температура навколишнього повітря, градусів.

Витрата палива на сушіння зерна:

$$P_T = \frac{q \cdot W}{Q_H \cdot \eta_T} \quad (2.21)$$

де  $q$  - питома витрата теплоти на сушіння зерна, кДж/кг

$Q_H$  - низька теплотворна здатність палива, МДж/кг;

$\eta_T$  - ККД топки.

## 2.2 Пошук шляхів вдосконалення процесів завантаження-вивантаження зернового матеріалу в сушарку

Ще одним лімітуючим фактором у підвищенні продуктивності роботи сушарки є процедура завантаження-вивантаження сушильної камери зерном.

Особливо це є характерним для невеликих мобільних сушарок, що, як правило, застосовуються у дрібних фермерських господарствах. Процес завантаження чи вивантаження досить часто супроводжується ручною працею, що суттєво уповільнює процес загалом.

Пропонується, як варіант пришвидшення процесу завантаження вивантаження сипкого зернового матеріалу, застосовувати гнучкі пружинні шнеки.

Гнучкий пружинний шнековий транспортер – зручна у технологічних процесах виробництва складова для зменшення ручної праці та автоматизації виробництва та подачі сипучих продуктів. Як правило, гнучкі пружинні/шнекові транспортери існують Ø75, Ø90, Ø125 трубою.

Труби можна ставити зі спеціального жорсткого ПВХ, вуглецевої або нержавіючої сталі, поліаміду, UHMWPE-1000, залежно від продукту, що транспортується. Довжина трас для борошна. Ø125 – до 25 м, Ø90 – до 35 м, Ø75 – до 45 м. Завдяки особливостям конструкції проміжні підшипники не потрібні.

Круглі прямокутні спіралі завдяки своїй жорсткості працюють без нижнього підшипника, що спрощує експлуатацію транспортера. Компанівка "кривої", "вигнутої" траси здійснюється з'єднанням прямих ділянок та вигинів, максимальний кут яких 45°.

Профіль пружини – це плоский, квадратний, круглий, прямокутний. Існує ще, як екзотика, овальний і із зовнішніми щітками.

Головною особливістю гнучкого шнекового транспортера і те, що принцип роботи забезпечений пружиною. Це одне з найкращих рішень для транспортування продукції на виробництві під будь-яким кутом, на будь-яку відстань. За допомогою гнучкого шнекового навантажувача можна автоматизувати процес дозування матеріалів, оскільки вони надходять уздовж труби рівномірно, згідно з виставленою швидкістю на електродвигуні. Діаметр проходу не змінюється вздовж траси, що унеможлиблює появу зон пресування сипких матеріалів.

Пружинний шнек в основі гнучкого конвеєра має і низку інших переваг:

- безшумний: конструкція не має центрального валу, за рахунок чого мінімізована сила тертя;
- чистота та екологічність: шнек пружинний поміщений у трубу, яка може бути виготовлена з ПВХ, нержавіючої або вуглецевої сталі, все це забезпечує відсутність пилу, а також захист самої продукції від попадання пилу;
- можливість побудувати будь-яку конфігурацію траси на етапі замовлення: гнучкі шнекові транспортери дозволяють переміщати матеріали на висоту до 8 метрів та на кілька десятків метрів по довжині, а сама траса може проектуватися з урахуванням нахилів, горизонтальних та вертикальних трас;
- проста конструкція та легкий монтаж;
- економне споживання електроенергії;
- низька вартість як на готовий агрегат, так і обслуговування.

Однак, перед тим як купити гнучкий шнековий навантажувач, необхідно знати різновиди та технічні характеристики моделей, оскільки сфера застосування їх дуже велика.



Рисунок 2.6 – Загальний вигляд гнучкого шнека-навантажувача

Гнучкий шнековий навантажувач ідеально підходить для використання в обмежених, територіально-стиснених просторах, а також там, де необхідно пустити трасу конвеєра по складній траєкторії. У зв'язку з цим виготовлення

гнучкого шнека враховує застосування його у багатьох галузях виробництва:



Рисунок 2.7 – Робота гнучкого шнека із засобами транспортування зерна



Рисунок 2.8 – Принцип застосування гнучкого шнека із сушарками та бункерами активного вентилявання

Гнучкий шнековий транспортер для зерна, борошна та іншої агропродукції. Оскільки траса на подібному виробництві часто проходить як у приміщенні, так і на вулиці, тут застосовують круглий та плоский шнеки та трубу із пвх або сталі;

навантажувачі для харчових продуктів: цукор, борошно, сухе молоко, порошок какао, кава. Для абразивних матеріалів найкраще підходить конвеєр із нержавіючої сталі, загалом для харчових сипучих продуктів використовується ПВХ труба; транспортер для пелет, тріски, тирси: часто використовується для подачі твердого палива в котел, а також на виробництві. Для цього типу матеріалів найбільше підійде конвеєр на металевих компонентах.

Розробка та монтаж гнучкого шнекового транспортера відбувається з урахуванням особливостей підприємства: як його спеціалізації, а й зміни приміщень, місця навантаження, зв'язки коїться з іншими автоматизованими компонентами. Трубопровід збирається частинами з кількох елементів, способом з'єднання вигнутих і прямих елементів. При такому монтажі можливий поворот під будь-яким кутом як по горизонталі, так і по вертикалі.

У лінійці найпопулярніших розглядаються конвеєри з двома типами пружинного шнека:

- гнучкий шнековий транспортер з круглою пружиною використовують для передачі більш важких матеріалів, що мають підвищену щільність насипу. Наприклад, цукор чи хімічні сипучі матеріали. Крім того, пружинний шнек із круглою пружиною має великий радіус повороту. Найпоширеніші круглі пружини діаметром 90 та 125 мм.

- гнучкий шнековий навантажувач із плоскою пружиною має менший радіус повороту – 1,8 м. Доступні конвеєри з діаметром пружини 75, 90 та 125 мм.

Кругла спіраль кріпляться лише одним кінцем до моторедуктора, другий кінець немає підшипникового вузла, що дозволяє економно обслуговувати конвеєр. Ця модель практично не ламається.

Виробництво перших моделей розпочалося з 2001 року. За більш ніж 20 років асортимент значно зріс, сьогодні можна купити гнучкий навантажувач шнековий для харчової, хімічної промисловості, для будівельної справи та агровиробництва.

### 2.3 Висновки до розділу 2

1. Проаналізовано методи та засоби сушіння технічних культур, вказано їх переваги та недоліки;
2. Теоретично обґрунтувати інженерну методику розрахунку процесу сушіння технічних культур;
3. Запропоновано схему сушіння насіннєвого матеріалу з системою завантаження-вивантаження сушильних камер на основі гнучких шнеків.

## РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 3.1. Програма і методика експериментальних досліджень

Раніше було зазначено, що процес сушіння технічних сільськогосподарських культур, у тому числі насіння соняшнику, відбувається в три періоди: нагрівання насіння, постійної швидкості сушіння та спадаючої швидкості процесу сушіння.

При періоді нагрівання насіннєвого матеріалу температура насіння і швидкість сушіння зростають. При цьому досягаючи по завершенню періоду постійного значення. Після прогріву матеріалу починається період постійної швидкості сушіння (ще має назву перший період сушіння). Тут швидкість сушіння та температура зерна не змінюються. Вологовміст має зміни за лінійним законом. При сушінні насіння соняшнику не прослідковується чіткий період постійної швидкості. Параметри процесу сушіння змінюються за висотою шару. Відбувається нерівномірне сушіння (зерно зі сторони подачі агенту сушіння пересушується. Зі сторони, де сушильний агент виходить – залишається вологим). З моменту досягнення критичного значення вологовмісту, швидкість сушіння спадає. Температура матеріалу, при цьому - зростає. У цей період, що має назву другий період сушіння, вологість зерна досягає кондиційного значення.

Зміна вологи в зерновому матеріалу за часом відбувається у формі складних законів. В основі рівняння кінетики сушіння є коефіцієнт сушіння  $K$ . Отримавши залежність, яка може описати швидкість сушіння  $N$ , можемо отримати значення цього коефіцієнту.

Мета проведених експериментального досліджень у магістерській роботі полягала у встановленні зміни залежності швидкості сушіння  $N$  для насіння соняшнику від таких параметрів як температура сушильного агенту  $t$ , вологість насіннєвого шару в даний момент часу  $W$ .

Дослідження процесу сушіння реалізовувалось на лабораторній установці (рис.3.1). Для проведення дослідження було використане насіння соняшнику з певною початковою вологістю, що визначалась в %. Вологість насіння соняшнику визначали відповідно до стандартної методики повного висушування та зважування електронною вагою. Повторюваність дослідів становила не менше 3 рази. Визначались різноманітні значення температури агенту сушіння, вологості соняшнику протягом періоду процесу сушіння.

Обробка даних експерименту відбувалась відповідно відомих стандартизованих методик. За результатами експерименту визначались:

а) значення середнє арифметичне отриманих даних:

$$x_{сер.} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad (3.1)$$

б) похибка середня квадратична:

$$S_c = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_{сер.})^2}{n-1}}, \quad (3.2)$$

в) похибка середня квадратична середнього арифметичного:

$$\sigma = \frac{S_c}{\sqrt{n}}, \quad (3.3)$$

г) варіаційний коефіцієнт :

$$V = \frac{S_c}{x_{сер.}} \cdot 100\%, \quad (3.4)$$

д) похибка досліду:

$$v = \pm \left( \frac{S_c}{x_{сер.} \cdot \sqrt{n}} \right) \cdot 100\%. \quad (3.5)$$

### 3.2. Прилади, апаратура та обладнання для проведення досліджень

Дослідження щодо визначення зміни залежності вологості насіння соняшнику від параметрів сушіння застосовувалось наступне лабораторне обладнання: шафа сушильна типу СНОЛ-3; 5,3; 5,3; 5/3; термометр зі шкалою від 0 до 400°C та поділки ціною 5°C; електронні ваги з класом точності 4; бюкси, щуп та таймер.

Процес сушіння виконувався з використанням установки, що зображена на рис.3.1., ). Лабораторна установка побудована з камери сушильної 1, з'єднання гнучкого 2, калорифера 3, регулятора 4 і вентилятора 5.

Лабораторна установка працює так: повітря подається за допомогою вентилятора 5 до входу калорифера 3, там нагрівається до температури, яка встановлюється регулятором 4 та гнучким з'єднанням 2, що далі направляється до сушильної камери 1. В сушильну камеру вкладаються в чіткій послідовності пронумеровані касети (рис.3.1., б) з насипаним там насінням. Насіння має фіксовану початкову вологість і масу. Касета – це ємкість циліндричної форми з решітчастим дном. Через дно проходить сушильний агент, але не просипається матеріал. Ці касети розміщуються одна над одною. Через усі касети проходить повітря, відбираючи вологу з матеріалу.

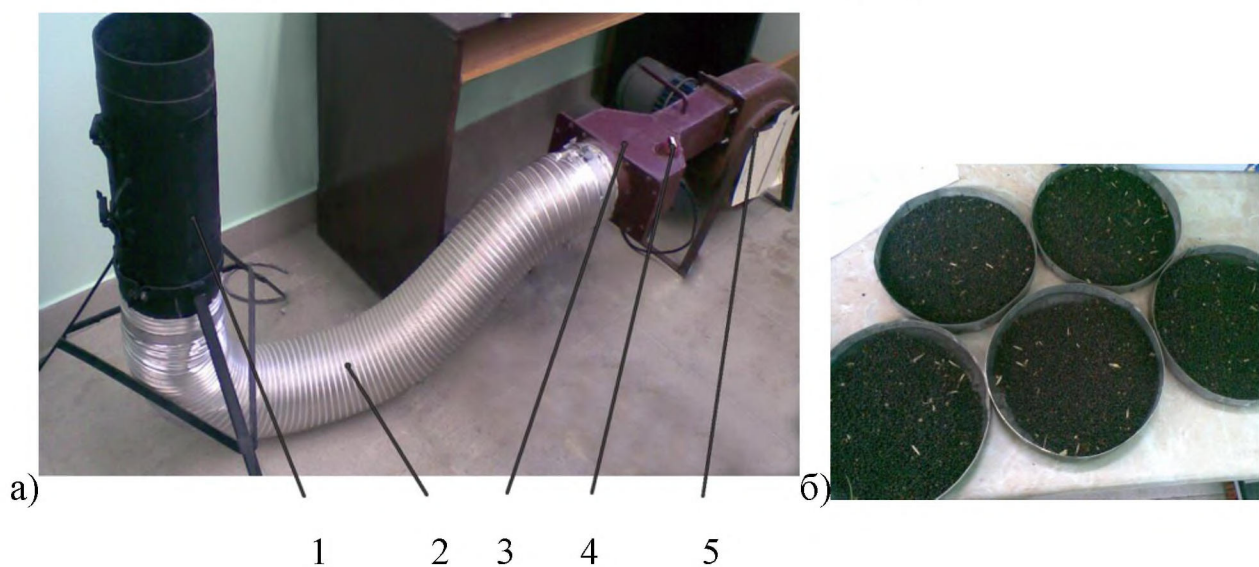


Рисунок 3.1 - Лабораторна установка для сушіння:

а) вигляд загальний; б) касети з насінням.

### 3.3. Визначення вологості насіння соняшнику

При формуванні методики встановлення вологості насіння соняшнику використовувалась стандартна методика визначення вологості насіння сільськогосподарських культур. Насіння соняшнику сушать цілим за температурі 130<sup>0</sup> С протягом часу 60 хв. Ефіроолійні, інші олійні і технічні сільськогосподарські культури висушують теж цілими за температури 105<sup>0</sup> С протягом часу 300 хвилин.

Початкова вологість зернового матеріалу була встановлена шляхом видалення вологи з проби матеріалу відомої маси в сушильній шафі. Визначалась маса видаленої з матеріалу вологи (води) через різницю маси вологого і сухого (абсолютно) зернового матеріалу. Початкова відносна вологість встановлювалась за формулою:

$$W = \frac{m_6 - m_c}{m_6} \cdot 100\%, \quad (3.6)$$

де  $m_6$  - маса сирого матеріалу у наважці, г;

$m_c$  - маса сухого зерна у наважці, г.

Сам процес сушіння вологого матеріалу здійснювався на вказаній установці (рис.3.1., а). В неї поміщалися пронумеровані касети з шаром насіння соняшнику. Насіння було з відомою початковою вологістю і масою. Контролювалась відповідна температура нагріву сушильного агента. Для кожної касети що 5 хвилин визначалась маса зернового матеріалу, що піддавався сушінню (рис. 3.2). Внаслідок вимірювань за формулою (3.6) встановлювалась відносна вологість насіння соняшнику в відомий моменти часу.



Рисунок 3.2 - Зважування проби зернового матеріалу (соняшнику)

Ці дослідження проводилось для температур агенту сушіння 20-25, 40-45 і 60-65°C, товщина шару зерна в касеті становила  $\approx 5$  мм, маса касет з зерном була зафіксована що 5 хв. Кожен дослід проводився не менше трьох разів.

За отриманими даними експерименту побудовані графіки, що демонструють процес сушіння насіння соняшнику.

#### 3.4. Встановлення кутів природного відкосу

Встановлення кутів природного відкосу виконували за допомогою приладу стандартної конструкції. Це прямий паралелепіпед 1 (рис. 3.3) що має розміри: довжина 370 мм, ширина 200 мм, висота 200 мм. У днищі верхнього відділення апарату є отвір із розмірами 125×200 мм. Цей отвір перекривається заслінкою 2.

Стінка передня даного приладу виготовлена із прозорого матеріалу. Для встановлення кутів природного відкосу була наклеєна міліметрова шкала на прозору стінку, що дозволяла встановити лінійні розміри катетів прямокутних трикутників.

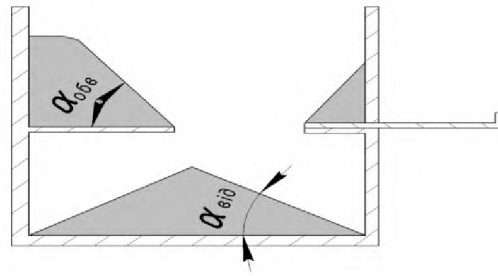


Рисунок 3.3 - Схема приладу щодо встановлення кутів природного відкосу

Прилад було розміщено горизонтально і наповнено зерновим матеріалом (соняшником) на 90 %. Тоді, висували заслінку і соняшник просипався у нижнє відділення коробки. По завершення такого просипання зернового матеріалу, в нижній секції на склі передньої стінки апарату відслідковували кут природного відкосу, що утворений насипом  $\alpha_{від}$ , а у верхній частині, відповідно – кут обвалення  $\alpha_{обв}$ . Значення цих кутів у градусах встановлювали з отриманих прямокутних трикутників, як арктангенс відношення відповідних катетів. Лінійні розміри катетів встановлювали з точністю до 1 мм через нанесену на передню стінку приладу міліметрову шкалу.

Досліди виконувались за відносної вологості насіння соняшнику 15% і температурі атмосферного повітря  $\approx 20^{\circ}\text{C}$  з трикратною повторюваністю. Як наслідок, за середнім арифметичним всіх експериментів було визначено значення шуканих кутів.

### 3.5. Визначення фізико-механічних властивостей насіння соняшнику

Технологія післязбиральної обробки насіння соняшнику – це складна функціональна система, яка надає багатогранний вплив на якість одержуваного насіння та залежить від його фізико-механічних властивостей. Незадовільне якість насіння призводить до суттєвого зниження врожайності сільськогосподарської продукції, великого перевитрати посівного матеріалу.

Фізико-механічні, фізико-хімічні та біологічні властивості насіння соняшнику та його олійної сировини визначають вибір машин та технологію його обробки.

Аналіз технологій очищення вороху насіння соняшнику, дозволяє зробити висновок, що одним з важливих напрямів підвищення ефективності очищення є зниження його втрат при прийомі, зберіганні, виділення повноцінних насіння та олійних домішок з купи насіння соняшника на зерноочисних агрегатах, на підприємствах прийому, зберігання та переробки зерна. Своєчасне та ефективне проведення післязбиральної обробки підвищує насінневі та продовольчі якості насіння соняшнику, а також зменшує його втрату.

Маса тисячі зерен є показником величини та дозрівання 1000 одиниць сухого насіння, виражених у грамах. У кожної посівної культури така маса буде різною. Цікавий факт – вона буде чудовою навіть у різних сортах одного виду. Маса тисячі насіння є одним із основних господарських показників. Її розраховують для правильного визначення норми висіву зерна. Адже якщо не враховувати показники посівної придатності та маси 1000 зерен, неможливо встановити норму висіву та визначити його схожість у польових умовах.

Щоб визначити масу тисячі зерен, використовують таку поширену методику: з фракції чистого насіння необхідно відібрати поспіль дві проби з кількістю по п'ятсот насіння в кожній з них. Наступним кроком є зважування проб. Це важлива процедура, адже вимагає точності у показниках до 0,01 г. Похибкою розбіжності маси двох проб вважають 3% від середньої маси. Якщо зерно задовольняє загальновизначені кількісні норми – масу першої та другої проб підсумовують. Таким чином, отриманий результат є показником маси тисячі насіння.

На практиці масу 1000 насіння визначають після попереднього відліку з випробовуваної проби візуально-ручним методом, а потім зважуванням на технічних вагах і зазначенням результату в грамах/1000 цілих зерен. Враховуючи ретельність підрахунку випробуваних зерен різних розмірів, рекомендується використовувати автоматичний лічильник зерен із

програматором, який не лише полегшує, а й прискорює отримання даних за цим якісним показником.

На масу зерна впливає багато чинників довкілля. Насамперед, важливими є метеорологічні умови дозрівання зерна, а також антропогенні фактори, тобто застосування агротехніки та різноманітних препаратів для знищення шкідників та підвищення якості зерна. Наприклад, у періоди посухи і при недостатньому зволоженні ґрунту насіння на рослинах розвивається слабким, а вага зазвичай легка. Негативно позначається на масі зерна вплив шкідників, ураження хворобами та вилягання стебла. Для того щоб підвищити масу зерна, необхідно постачати рослини достатньою кількістю вологи та поживних речовин. Адже якщо насіння велике та важке, це свідчить про наявність високого показника поживності та розвиненості зародка. Наслідком є висока врожайність кожної окремої культури.

### 3.6. Висновки до розділу 3

1. Для виконання експериментальних досліджень застосовувалось відоме та спеціально розроблене лабораторне обладнання;
2. Розроблено методіку визначення процесу перебігу процесу сушіння технічних культур, на прикладі насіння соняшнику, та застосована при цьому класична методіка визначення вологості матеріалу методом повного висушування;
3. Встановлені фізико-механічні властивості насіння соняшнику, проаналізовано їх вплив на процес сушіння загалом.

## РОЗДІЛ 4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 4.1 Дослідження кінетики сушіння насіння соняшнику

Дослідження процесу сушіння проводилися на насінні гібриду соняшнику Запорізький-9 масою 1000 зерен 59,6 г, олійністю 50,9 % з вихідною вологістю насіння відносно сухої речовини 17,51%. Температура навколишнього повітря коливалася від 18 до 27° С, відносна вологість становила 78%, барометричний тиск 770 мм рт. ст. Початкова температура насіння 20 ° С, температура агенту сушіння на вході в контейнер змінювалася в межах 45-50° С, середня швидкість агенту сушіння в контейнері без урахування насіння становила 0,3 м/с.

Результати проведеного досвіду дозволили побудувати експериментальну криву сушіння та порівняти з нею теоретичну криву, отриману чисельним дослідженням описаної математичної моделі (рис.4.1). Відносна помилка чисельних досліджень при опис кривої сушіння не перевищує 16,8%. На рис.4.2 збудовано експериментальні та теоретичні температурні криві ядра в четвертому елементарному шарі. Відносна помилка чисельних досліджень температурних кривих -15%.

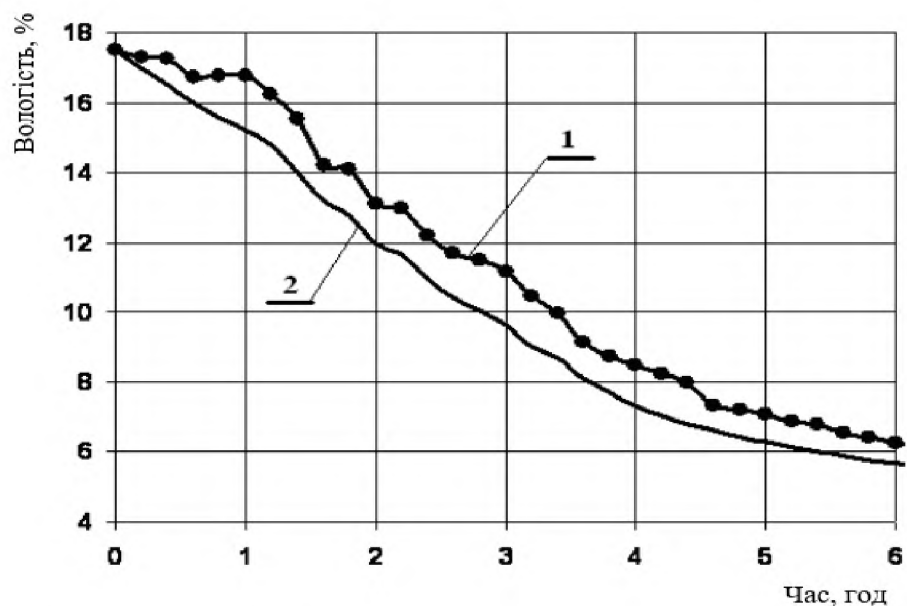


Рисунок 4.1 - Кінетика сушіння насіння соняшника в товстому шарі:

1 – експериментальна; 2 – розрахункова.

При експериментальному дослідженні нерівномірності температурного поля сушильному контейнері проводилися дві серії дослідів. Мета першої серії дослідів – дослідження нерівномірності температурного поля горизонтального перерізу сушильного контейнера. Для цієї серії дослідів датчики температури встановлювалися в двох шарах: на висоті 320 мм та 640 мм від рівня решета контейнера.

У кожному шарі по 5 датчиків: чотири в кутах чотирикутника зі стороною 800 мм, і один у центрі на перетині діагоналей. Висота шар насіння соняшника в контейнері дорівнює 960 мм. Розміри горизонтального перерізу контейнера – 1300x1300 мм.

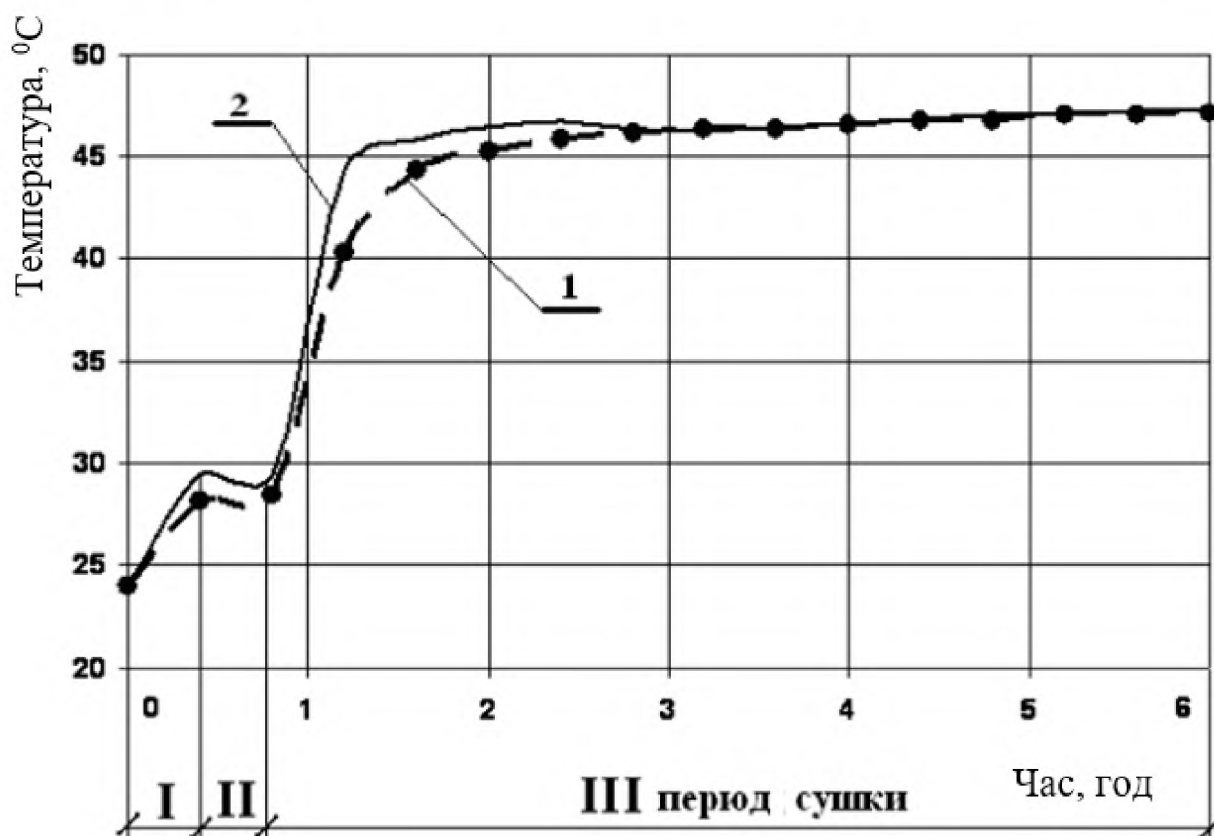


Рисунок 4.2 - Динаміка температури ядра в елементарному шарі:

1 – експериментальна; 2 – розрахункова.

Верхня крива показує зміну температури теплоносія на вході в сушильний контейнер. Нижня крива показує температуру навколишнього повітря. Перший пучок температурних кривих, що зростають через годину після початку сушіння

насіння, дає розкид температурного поля за перерізом контейнера на висотою 300 мм. Другий пучок температурних кривих, що зростають через дві з половиною години після початку сушіння дає розкид температури насіння на висоті 650 мм.

Неоднорідність температурного поля у горизонтальному перерізі контейнера обумовлена неоднорідністю потоку теплоносія усередині насипного шару. Ця неоднорідність викликана умовами підведення теплоносія (зовнішня макронеоднорідність) та неоднорідністю укладання насіння у шарі (внутрішня макронеоднорідність). Не слід виключати і вплив неоднорідності лише на рівні однієї сім'янки (мікронеоднорідність). Вказана неоднорідність потоку теплоносія і, відповідно, температурного поля впливає ефективність сушки, а за високих температурах може викликати локальний перегрів насіння.

#### 4.2. Дослідження фізико-механічних властивостей насіння соняшнику

До фізико-механічних властивостей одиничного насіння соняшнику відносяться: геометрична форма та лінійні розміри, абсолютна маса, щільність, аеродинамічні, діелектричні та інші властивості. Вони важливі при вирішенні багатьох питань післязбиральної обробки, зберігання та особливо технологічної переробки насіння. До основних відмінних особливостей соняшнику належать: висока олійність, низька механічна міцність оболонки, щільність, натура, парусність, швидкість витання та підвищена шпаруватість.

Встановлено такі значення фізико-механічних та аеродинамічних властивостей насіння соняшнику:

- вологість насіння, % - 4,3 ... 9,2;
- відносна щільність насіння, г/см<sup>2</sup> - 0,651 ... 0,827;
- насипна щільність, г/дм<sup>3</sup> (Натура) - 330 ... 470;
- абсолютна маса 1000 насінин, г - 40,0 ... 98,1;
- шпаруватість, % - 42 ... 60;
- критична швидкість, м/с<sup>-1</sup> - 3,2 ... 8,9;

- коефіцієнт парусності,  $m^{-1}$  - 0,24 ... 0,29;

- кут природного укосу, град.

сухого насіння -27...35;

вологого насіння -30...42.

Геометрична форма та лінійні розміри. Від геометричної форми і лінійних розмірів насіння залежить тип сховища, розміри робочих органів технологічних машин, а так ж спосіб зберігання та переробки насіння. Форма визначається співвідношенням довжини, ширини та товщини.

Відносна густина. Цей показник пов'язаний з хімічним складом, вологістю та відносною щільністю різних насіння тканин. Розмір відносної щільності насіння залежить також від кількості повітря, що міститься в тканинах. У насіння соняшнику повітряні тканини займають 20...35% обсягу.

Відносна щільність насіння більшості олійних рослин, менше 1 (щільності води) і ця властивість впливає на визначення параметрів технічних засобів.

Засміченість. Стебла рослин, листя, мінеральне сміття, металеві та інші домішки, за винятком обрушеного ядра соняшнику, сприяють передчасному зносу обладнання (особливо мінеральні та металеві домішки), знижують продуктивність останнього та якість вироблюваної продукції.

Вологість. Рівноважна вологість насіння соняшнику, тобто вологість, при якій насіння не віддає і не поглинає вологу, залежить від температури, відносної атмосферної вологості повітря, олійності. Соняшнику, що міститься в масі насіння органічні та сміттєві домішки мають великий гігроскопічність, а це сприяє зниженню продуктивності та якості роботи обладнання, а також безпеки сировини.

Гігроскопічність - здатність насінневої маси поглинати та віддавати пари води. Сорбційні властивості обумовлені капілярно-пористою структурою і здатністю входити до насіння хімічних речовин поглинати та утримувати строго певне кількість води. Має такі ж негативні причини та зв'язки як і вологість.

Сипучість. Важливою фізико-механічною властивістю рослинної сировини, як об'єкта очищення та сушіння, є сипкість, що характеризується кутом

природного укусу. При роботі з насінням соняшника транспортуючі труби повинні мати більший діаметр та їх встановлюють під великим кутом нахилу. У процесі зберігання сипкість може змінюватися, а при несприятливій умові зберігання може бути втрачено зовсім (в наслідок самозігрівання, спостереження та інших причин).

Шпаруватість - відсоткове відношення обсягу, зайнятого сім'янками, до обсягу насінневої маси цих же сім'янок – залежить від розмірів, форми, вологості, а також від кількості та характеру домішок. Як і насипна щільність впливає вибір параметрів ємностей та робочих органів технологічних засобів.

Аеродинамічні властивості залежать від форми, абсолютної маси та відносної щільності олійного насіння. Стан насіння при продуванні повітря через їх шар (при очищенні, тепловому сушінні, активному вентиляванні, пневмотранспортуванні та деяких інших технологічних процесах) визначається швидкістю повітря.

Під коефіцієнтом парусності насіння розуміється відношення площі проекції найбільшого перерізу насіння на площину, перпендикулярну повітряному потоку (Міделевий переріз), до маси насіння. Величина швидкості витання залежить від парусності насіння та його гідравлічного опору.

Таблиця 4.1 - Значення вологості, засміченості та натури олійної сировини соняшнику

Фізико-механічні властивості олійної сировини		
Вологість, %	Забур'яненість, %	Насипна щільність, г/дм <sup>3</sup>
6,4 -7,10	1,93 - 4,83	410 - 430

Маса 1000 насінин олійного соняшнику коливається в межах 40 ...80 гр.

### 4.3. Дослідження травмування зерна шнековим живильним пристроєм

Дослідження проводили на лабораторній установці, що виконана на базі живильника зерноочисної машини «Петкус». Схема установки представлена рис. 4.3.

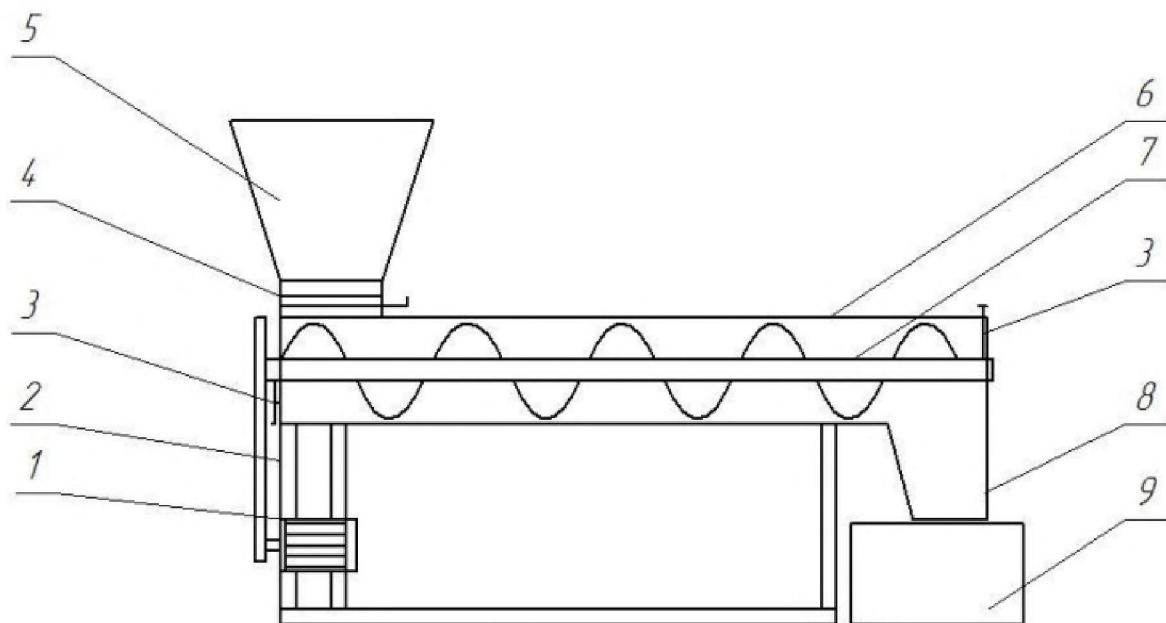


Рисунок 4.3 - Схема лабораторної установки: 1 – електродвигун; 2 – рама; 3 – механізми регулювання зазору шнека; 4 – заслінка; 5 – завантажувальний бункер; 6 – кожух; 7 – шнек; 8 – вивантажувальний рукав; 9 – ємність для матеріалу.

Лабораторна установка складається з завантажувального бункера 5, заслінки 4, що регулює подачу матеріалу, кожуха 6, що має вивантажувальний рукав 8 для виходу матеріалу.

У кожусі 6 встановлений шнек 7, який приводиться в дію за допомогою електродвигуна 1. По краях кожуха 6 встановлені механізми регулювання шнека зазору 3.

Зерно завантажували в завантажувальний бункер 5, за допомогою заслінки регулювали подачу матеріалу. При обертанні шнека 7 зерно переміщалося по кожуху 6 із завантажувального бункера 5 у вивантажувальний рукав 8. При виході матеріалу з вивантажувального рукава 8 відбиралися проби. Відстань між

витками шнека та кожухом регулювали за допомогою механізмів регулювання зазору шнека 3. Частоту обертання шнека змінювали за допомогою частотного регулятора живлення електродвигуна. Зазор між витками шнека та кожухом встановлювали від 0 до 25 мм.

У ході проведення досліджень виявлялася залежність дроблення зерна від зазору між витками шнека та кожухом, а також від частоти обертання шнека (рис. 4.4 та рис.4.5.).

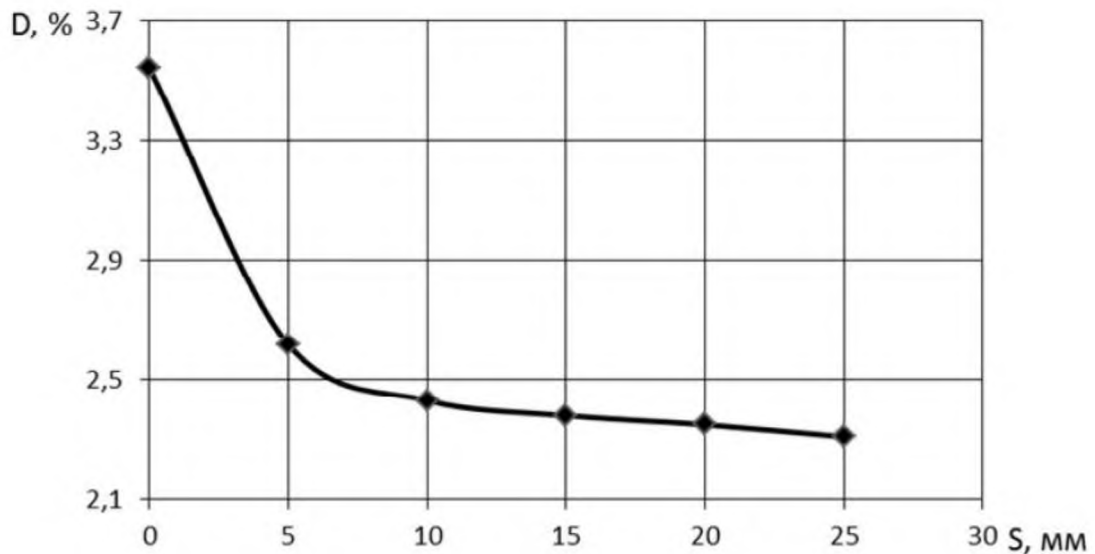


Рисунок 4.4 - Залежність дроблення зерна від зазору між витками шнека та кожухом: D – дроблення зерна, %; S – зазор між витками шнека та кожухом, мм

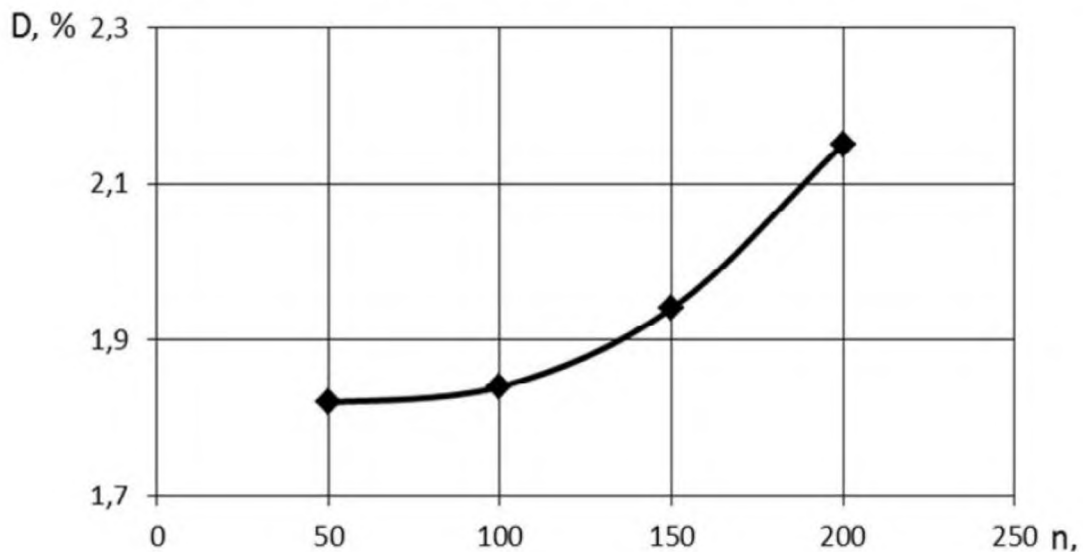


Рисунок 4.5 - Залежність дроблення зерна від частоти обертання шнека:

D – дроблення зерна, %; n – частота обертання шнека, хв<sup>-1</sup>

Як показали результати проведеного дослідження, при зазорі між шнеком та кожухом від 0 до 10 мм спостерігається значне дроблення зерна (рис. 2). На ділянці від 25 до 10 мм спостерігається незначне ушкодження матеріалу. е. для найменшого травмування матеріалу необхідно створювати проміжок не менше 10 мм. Істотне дроблення зерна при невеликому зазорі обумовлено тим, що відбувається защемлення зерна між кожухом та витками шнека.

Частоту обертання шнека задавали від 50 до 200  $\text{хв}^{-1}$ . При частоті обертання шнека до 150  $\text{хв}^{-1}$  відзначається несуттєва різниця у дробленні матеріалу. При частоті обертання від 150  $\text{хв}^{-1}$  і вище травмування матеріалу зростає суттєво. Це обумовлено тим, що при частоті обертання понад 150  $\text{хв}^{-1}$  відбувається багаторазове вплив витків шнека на оброблюваний матеріал.

#### 4.4 Висновки до розділу 4.

1. Експериментально визначено закономірності зміни теплофізичних, термодинамічних характеристик оболонки та ядра насіння соняшника залежно від їх технологічних властивостей та параметрів агента сушіння. Це дозволило підтвердити факт різкої відмінності визначених характеристик, а отже неможливості застосування абстрактної моделі сім'янки вигляді суцільної кулі.
2. Дослідження дозволили обґрунтувати раціональні технологічні режими сушіння насіння соняшнику вищих репродукцій - температура агенту сушіння – 46... 48 °С, при вологовмісті насіння 0,12.
3. На підставі наведених даних можна зробити висновок, що насіння соняшнику як об'єкт післяжнивної обробки мають яскраво виражені специфічні особливості в фізико-механічні властивості, що необхідно враховувати в як передумови для вдосконалення технологічних процесів післязбиральної обробки насіння соняшнику;

4. Проведені дослідження дозволяють зробити висновок, що шнекові приймально-розподільні пристрої надають негативний вплив на стан насіння;
5. При цьому експериментальними дослідженнями доведено, що регулюючи частоту обертання шнека, зазор між витками шнека і кожухом пристрою живлення, можна досягти такого значення, при якому травмування зерна буде мінімальним.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

На основі проведеного дослідження щодо тему магістерської цієї роботи можна зробити ряд висновків:

1. Процес післязбирального обробітку технічних сільськогосподарських культур є надзвичайно енергозатратним, зокрема багато ресурсів потребує операція сушіння;
2. Технічні, зокрема олійні культури мають ряд біологічних особливостей, що потребує формування спеціальних режимів сушіння;
3. З технічної точки зору існує досить багато типів сушарок, що застосовуються для зневоднення насіння, зокрема соняшнику, однак процеси завантаження-вивантаження сушильних камер потребують вдосконалення та розробки ефективних механізмів;
4. Проаналізовано методи та засоби сушіння технічних культур, вказано їх переваги та недоліки. Теоретично обґрунтувати інженерну методику розрахунку процесу сушіння технічних культур;
5. Запропоновано схему сушіння насінневого матеріалу з системою завантаження-вивантаження сушильних камер на основі гнучких шнеків;
6. Для виконання експериментальних досліджень застосовувалось відоме та спеціально розроблене лабораторне обладнання;
7. Розроблено методику визначення процесу перебігу процесу сушіння технічних культур, на прикладі насіння соняшнику, та застосована при цьому класична методика визначення вологості матеріалу методом повного висушування;
8. Встановлені фізико-механічні властивості насіння соняшнику, проаналізовано їх вплив на процес сушіння загалом;
9. Експериментально визначено закономірності зміни теплофізичних, термодинамічних характеристик оболонки та ядра насіння соняшника залежно від їх технологічних властивостей та параметрів агента сушіння. Це дозволило підтвердити факт різкої відмінності визначених характеристик, а отже неможливості застосування абстрактної моделі сім'янки вигляді суцільної кулі;

10. Дослідження дозволили обґрунтувати раціональні технологічні режими сушіння насіння соняшнику вищих репродукцій - температура агенту сушіння – 46... 48 ° С, при вологовмісті насіння 0,12;
11. На підставі наведених даних можна зробити висновок, що насіння соняшнику як об'єкт післяжнивної обробки мають яскраво виражені специфічні особливості в фізико-механічні властивості, що необхідно враховувати в як передумови для вдосконалення технологічних процесів післязбиральної обробки насіння соняшнику
12. Проведені дослідження дозволяють зробити висновок, що шнекові приймально-розподільні пристрої надають негативний вплив на стан насіння;
13. При цьому експериментальними дослідженнями доведено, що регулюючи частоту обертання шнека, зазор між витками шнека і кожухом пристрою живлення, можна досягти такого значення, при якому травмування зерна буде мінімальним.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Насіння сільськогосподарських культур. Сортові та посівні якості. Технічні умови: ДСТУ 2240-93. – [Чинний від 1993-09-09]. – К.: Держстандарт України, 1994. – 74 с.
2. Котов Б.І. До питання зниження енергоємності процесів сушіння зерна / Б.І. Котов, В.О. Лісецький // Перспективи розвитку механізації, електрифікації та технічного сервісу сільськогосподарського виробництва: матеріали міжнародної науково-технічна конференція. – Глеваха: ІМЕСГ, ІТС. – 1996. – С. 67.
3. Котов Б.І. Застосування імпульсно-періодичних режимів вентилявання при реалізації енергоощадної двостадійної технології сушіння зерна / Б.І. Котов, Р.А. Калініченко // Електрифікація та автоматизація сільського господарства: науково-виробничий журнал. – К, 2003 р. – № 2. – С. 69–74.
4. Дідух В.Ф. Науково-технологічні основи механізованого сушіння неоднорідних матеріалів: дис. ... доктора техн. наук: 05.05.11 / Володимир Федорович Дідух. – Луцьк, 2003. – 274 с.
5. Дідух В.Ф. Підвищення ефективності сушіння сільськогосподарських матеріалів: монографія / В.Ф. Дідух. – Луцьк: ЛДТУ, 2002. – 165 с.
6. Дударєв І.М. Обґрунтування технологічного процесу та параметрів сушарки льоносировини в рулонах: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.11 / Ігор Миколайович Дударєв. – Луцьк, 2007. – 208 с.
7. Лісецький В.О. Підвищення ефективності сушіння зерна в сушарках періодичної дії: : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: 05.05.11 / Віталій Олександрович Лісецький. – Глеваха, 2003. – С. 18.
8. Лісецький В.О. Підвищення енергетичної ефективності зерносушарок / В.О. Лісецький, Б.І. Котов // Сільськогосподарські машини: зб. наук. ст. – Луцьк: ЛДТУ. – 2001. – Вип. 9. – С. 104-109.
9. Калініченко Р.А. Енергозберігаючі режими сушіння і активного вентилявання зерна при зберіганні в умовах господарств: автореф. дис. на

здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: 05.09.16 / Роман Андрійович Калініченко. – Глеваха, 2005. – 20 с.

10. Шалугін В.С. Процеси та апарати промислових технологій: навчальний посібник / В.С. Шалугін, В.М. Шмандій. – К.: Центр учбової літератури, 2008. – 392 с.

11. Дударев І.М. Дослідження впливу аеродинамічних параметрів шару гірчиці на процес його вентилявання / І.М. Дударев, С.Є. Голячук, Т.М. Лук'янчук // Сільськогосподарські машини: зб. наук. ст. – Луцьк: Ред.- вид. відділ ЛНТУ, 2008. – Вип. 17. – С. 40–45.

12. Хайліс Г.А. Основи проектування і дослідження сільськогосподарських машин: навч. посібник / Г.А. Хайліс, Д.М. Коновалюк. – К.: НМК ВО, 1992. – 320 с.

13. Механіко- технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів: підручник / О.М. Царенко, Д.Г. Войтюк, В.М. Шванко та ін.; За ред. С.С. Яцина. – К.: Мета, 2003.- 448 с.

14. Б. В. Дмитрук. Застосування гнучких шнеків для завантаження мобільних зернових сушарок //Тези IV студентської науково-технічної конференції «Сучасні технології у агровиробництві та природокористуванні». Луцьк: Факультет аграрних технологій та екології, Луцький НТУ. – 2024. –с.119-121

## **ДОДАТКИ**







# Звіт подібності

## метадані

Заголовок

Дмитрук\_208\_2024

Автор

Дмитрук В.І. Науковий керівник / Експерт

підрозділ

Lutsk National Technical University

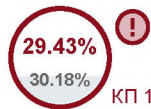
## Тривога

У цьому розділі ви знайдете інформацію щодо текстових спотворень. Ці спотворення в тексті можуть говорити про МОЖЛИВІ маніпуляції в тексті. Спотворення в тексті можуть мати навмисний характер, але частіше характер технічних помилок при конвертації документа та його збереженні, тому ми рекомендуємо вам підходити до аналізу цього модуля відповідально. У разі виникнення запитань, просимо звертатися до нашої служби підтримки.

Заміна букв	Ⓡ	10
Інтервали	A→	0
Мікропробіли		53
Білі знаки	Ⓡ	2
Парафрази (SmartMarks)	a	314

## Обсяг знайдених подібностей

Коефіцієнт подібності визначає, який відсоток тексту по відношенню до загального обсягу тексту було знайдено в різних джерелах. Зверніть увагу, що високі значення коефіцієнта не автоматично означають плагіат. Звіт має аналізувати компетентна / уповноважена особа.



25

Довжина фрази для коефіцієнта подібності 2

11939

Кількість слів

91783

Кількість символів

## Подібності за списком джерел

Нижче наведений список джерел. В цьому списку є джерела із різних баз даних. Колір тексту означає в якому джерелі він був знайдений. Ці джерела і значення Коефіцієнту Подібності не відображають прямого плагіату. Необхідно відкрити кожне джерело і проаналізувати зміст і правильність оформлення джерела.

### 10 найдовших фраз

Колір тексту

ПОРЯДКОВИЙ НОМЕР	НАЗВА ТА АДРЕСА ДЖЕРЕЛА URL (НАЗВА БАЗИ)	КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)	
1	<a href="https://technik.ua/produktsiia/shnekovi-transportery/hnuchki-pruzhynni-shneky-dlia-neabrazynnykh-produktiv">https://technik.ua/produktsiia/shnekovi-transportery/hnuchki-pruzhynni-shneky-dlia-neabrazynnykh-produktiv</a>	225	1.88 %
2	<a href="https://technik.ua/produktsiia/shnekovi-transportery/hnuchki-pruzhynni-shneky-dlia-neabrazynnykh-produktiv">https://technik.ua/produktsiia/shnekovi-transportery/hnuchki-pruzhynni-shneky-dlia-neabrazynnykh-produktiv</a>	178	1.49 %
3	<a href="https://technik.ua/produktsiia/shnekovi-transportery/hnuchki-pruzhynni-shneky-dlia-neabrazynnykh-produktiv">https://technik.ua/produktsiia/shnekovi-transportery/hnuchki-pruzhynni-shneky-dlia-neabrazynnykh-produktiv</a>	122	1.02 %
4	<a href="https://ecoimpact-ple.com/en/documents/1892.html">https://ecoimpact-ple.com/en/documents/1892.html</a>	96	0.80 %

5	<a href="https://ecoimpact-ple.com/en/documents/3878.html">https://ecoimpact-ple.com/en/documents/3878.html</a>	91	0.76 %
6	<a href="https://volyntehresurs.com.ua/blog/article/tehniceskie-kultury-2021-06-08/">https://volyntehresurs.com.ua/blog/article/tehniceskie-kultury-2021-06-08/</a>	89	0.75 %
7	<a href="https://growex.com.ua/ua/article/viznachennya-masi-1000-nasinin">https://growex.com.ua/ua/article/viznachennya-masi-1000-nasinin</a>	89	0.75 %
8	<a href="http://www.kntu.kr.ua/doc/science/zahody/vikl/2020/6536.pdf">http://www.kntu.kr.ua/doc/science/zahody/vikl/2020/6536.pdf</a>	88	0.74 %
9	<a href="http://eprints.library.odeku.edu.ua/1721/1/Zabrods%CA%B9ka_Ahroekolohichna_otsinka_vplivu_S_2017.pdf">http://eprints.library.odeku.edu.ua/1721/1/Zabrods%CA%B9ka_Ahroekolohichna_otsinka_vplivu_S_2017.pdf</a>	74	0.62 %
10	<a href="http://eprints.library.odeku.edu.ua/1721/1/Zabrods%CA%B9ka_Ahroekolohichna_otsinka_vplivu_S_2017.pdf">http://eprints.library.odeku.edu.ua/1721/1/Zabrods%CA%B9ka_Ahroekolohichna_otsinka_vplivu_S_2017.pdf</a>	65	0.54 %

### з домашньої бази даних (3.23 %)

ПОРЯДКОВИЙ НОМЕР	ЗАГОЛОВОК	КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)	
1	<a href="#">Войчак_208_2024</a> 11/28/2024 Lutsk National Technical University (Lutsk National Technical University)	386 (13)	3.23 %

### з програми обміну базами даних (0.45 %)

ПОРЯДКОВИЙ НОМЕР	ЗАГОЛОВОК	КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)	
1	Холявко.docx 12/12/2020 Odessa State Agrarian University (Науковий відділ)	41 (3)	0.34 %
2	ТПМ_1801_Shakhvorostova_Olha_171218.docx 12/8/2018 National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine (Faculty_Harchovy_Technologie)	13 (2)	0.11 %

### з Інтернету (26.49 %)

ПОРЯДКОВИЙ НОМЕР	ДЖЕРЕЛО URL	КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)	
1	<a href="https://technik.ua/produksiia/shnekovi-transportery/hnuchki-pruzhyjni-shneky-dlia-neabrazyvnykh-produktiv">https://technik.ua/produksiia/shnekovi-transportery/hnuchki-pruzhyjni-shneky-dlia-neabrazyvnykh-produktiv</a>	590 (5)	4.94 %
2	<a href="http://www.kntu.kr.ua/doc/science/zahody/vikl/2020/6536.pdf">http://www.kntu.kr.ua/doc/science/zahody/vikl/2020/6536.pdf</a>	547 (16)	4.58 %
3	<a href="http://www.tsafu.edu.ua/nauka/wp-content/uploads/sites/49/dys.-roboza-zadosnoyi-n.o.-2020_.pdf">http://www.tsafu.edu.ua/nauka/wp-content/uploads/sites/49/dys.-roboza-zadosnoyi-n.o.-2020_.pdf</a>	375 (13)	3.14 %
4	<a href="https://ecoimpact-ple.com/en/documents/1892.html">https://ecoimpact-ple.com/en/documents/1892.html</a>	291 (11)	2.44 %
5	<a href="http://eprints.library.odeku.edu.ua/1721/1/Zabrods%CA%B9ka_Ahroekolohichna_otsinka_vplivu_S_2017.pdf">http://eprints.library.odeku.edu.ua/1721/1/Zabrods%CA%B9ka_Ahroekolohichna_otsinka_vplivu_S_2017.pdf</a>	233 (4)	1.95 %
6	<a href="https://growex.com.ua/ua/article/viznachennya-masi-1000-nasinin">https://growex.com.ua/ua/article/viznachennya-masi-1000-nasinin</a>	200 (4)	1.68 %
7	<a href="https://volyntehresurs.com.ua/blog/article/tehniceskie-kultury-2021-06-08/">https://volyntehresurs.com.ua/blog/article/tehniceskie-kultury-2021-06-08/</a>	162 (4)	1.36 %
8	<a href="https://ua.all.biz/uk/kompleks-oholodzhennya-zerna-by-25-g13508403">https://ua.all.biz/uk/kompleks-oholodzhennya-zerna-by-25-g13508403</a>	114 (3)	0.95 %
9	<a href="https://ecoimpact-ple.com/en/documents/3878.html">https://ecoimpact-ple.com/en/documents/3878.html</a>	108 (2)	0.90 %
10	<a href="https://iua.waykun.com/articles/osoblivosti-zberigannja-nasinnja-sonjashniku.php">https://iua.waykun.com/articles/osoblivosti-zberigannja-nasinnja-sonjashniku.php</a>	94 (4)	0.79 %

11	<a href="http://kursak.net/kursova-robota-texnologiya-viroshhuvannya-sonyashniku-v-umovax-lisostepovo%d1%97-zoni/">http://kursak.net/kursova-robota-texnologiya-viroshhuvannya-sonyashniku-v-umovax-lisostepovo%d1%97-zoni/</a>	77 (3)	0.64 %
12	<a href="https://studfile.net/preview/9103871/page:32/">https://studfile.net/preview/9103871/page:32/</a>	54 (4)	0.45 %
13	<a href="http://readbookz.net/book/113/2866.html">http://readbookz.net/book/113/2866.html</a>	48 (4)	0.40 %
14	<a href="https://apk.hlr.ua/obektyi-isledovaniya/semena/pokazateli-kachestva/massa-tyisyachi-semyan/">https://apk.hlr.ua/obektyi-isledovaniya/semena/pokazateli-kachestva/massa-tyisyachi-semyan/</a>	48 (2)	0.40 %
15	<a href="http://nubip.edu.ua/sites/default/files/2_Prazi%201_Yakist_2012.pdf">http://nubip.edu.ua/sites/default/files/2_Prazi%201_Yakist_2012.pdf</a>	35 (3)	0.29 %
16	<a href="http://4ua.co.ua/agriculture/ta3bc68a5c53b88421206c27_1.html">http://4ua.co.ua/agriculture/ta3bc68a5c53b88421206c27_1.html</a>	31 (2)	0.26 %
17	<a href="https://studopedia.su/10_155762_viznachennya-vitrati-teploti.html">https://studopedia.su/10_155762_viznachennya-vitrati-teploti.html</a>	26 (2)	0.22 %
18	<a href="https://ppt-online.org/455483">https://ppt-online.org/455483</a>	20 (1)	0.17 %
19	<a href="http://agro-business.com.ua/agro/zberihannia/item/13839-vid-koshyka-do-elevatora-sushinnia-soniashnyku.html">http://agro-business.com.ua/agro/zberihannia/item/13839-vid-koshyka-do-elevatora-sushinnia-soniashnyku.html</a>	19 (1)	0.16 %
20	<a href="http://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/123456789/5435/11/dis_Homych.pdf">http://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/123456789/5435/11/dis_Homych.pdf</a>	17 (2)	0.14 %
21	<a href="https://present5.com/osnovy-teorii-processa-sushki-zerna-1-sposoby-sushki/">https://present5.com/osnovy-teorii-processa-sushki-zerna-1-sposoby-sushki/</a>	14 (1)	0.12 %
22	<a href="http://dspace.mnau.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/2900/1/Galeeva_A.KL_MEASGV.pdf">http://dspace.mnau.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/2900/1/Galeeva_A.KL_MEASGV.pdf</a>	14 (1)	0.12 %
23	<a href="https://docplayer.net/87453681-Za-redakciieyu-profesora-chlena-korespondenta-uaan-d-g-voytyuka.html">https://docplayer.net/87453681-Za-redakciieyu-profesora-chlena-korespondenta-uaan-d-g-voytyuka.html</a>	13 (1)	0.11 %
24	<a href="http://old.nuft.edu.ua/page/534fcae12bb5e/files/Part_2.pdf">http://old.nuft.edu.ua/page/534fcae12bb5e/files/Part_2.pdf</a>	12 (1)	0.10 %
25	<a href="https://kmzindustries.ua/elevators/yak-sushiti-sonyashnik">https://kmzindustries.ua/elevators/yak-sushiti-sonyashnik</a>	11 (1)	0.09 %
26	<a href="http://dspace.nuft.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/11906/1/19.pdf">http://dspace.nuft.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/11906/1/19.pdf</a>	10 (2)	0.08 %

## Список прийнятих фрагментів

ПОРЯДКОВИЙ НОМЕР	ЗМІСТ	КІЛЬКІСТЬ ОДНАКОВИХ СПІВ (ФРАГМЕНТІВ)
<b>Войчак_208_2024</b>		<b>89 (0.75%)</b>
1	Луцький національний технічний університет (повне найменування вищого навчальн...	45 (0.38%)
2	Виконав: студент 2 курсу, групи АІм-21 спеціальності 208 Агроінженерія за ...	44 (0.37%)