

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 ріпаку з удосконаленням конусоподібної камери сушіння»

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

Пристапа Б.В.

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

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**

Прийняттю Богдану Васильовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження процесу сушіння ріпаку з удосконаленням конусоподібної камери сушіння

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

(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 _____

3. Вихідні дані до роботи _____

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 _____

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

_____ (підпис)

Пристапа Б.В.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Кірчук Р.В.

_____ (прізвище та ініціали)

Гарант ОПП

_____ (підпис)

Хомич С.М.

_____ (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

У кваліфікаційній магістерській роботі на тему: «Дослідження процесу сушіння ріпаку з удосконаленням конусоподібної камери сушіння» представлено вирішення науково-прикладної задачі формування енергоощадних режимів сушіння насіння ріпаку та підвищення продуктивності обладнання за рахунок використання конусоподібних сушильних камер сушарок.

Сферою застосування даного дослідження може бути рослинництво, а саме вирощування ріпаку. Застосування запропонованої технології та конструкції сушарки дозволить повною мірою використовувати потенціал агенту сушіння у фермерських господарствах.

Кваліфікаційна магістерська робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел із 19 назв та 2 додатків. Основна частина викладена на 53 сторінках, містить 20 рисунків і фотографій, 2 таблиці.

ABSTRACT

The qualification master's thesis on the topic: "Rapeseed drying process study with improvement of the cone-shaped drying chamber" presents a solution to the scientific and applied problem of forming energy-saving modes of drying rapeseed and increasing the productivity of equipment through the use of conical drying chambers of dryers.

The scope of this study can be crop production, namely the cultivation of rapeseed. The application of the proposed technology and design of the dryer will allow to fully use the potential of the drying agent in farms.

The qualification master's thesis consists of an introduction, four sections, conclusions, a list of sources used with 19 titles and 2 appendices. The main part is presented on 53 pages, contains 20 figures and photographs, 2 tables.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ	9
1.1 Особливості технології вирощування ріпаку	9
1.2 Збирання та зберігання ріпаку	16
1.3 Висновки, мета та завдання дослідження	19
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ НАСІННЯ РІПАКУ	21
2.1 Основи теорії сушіння насінневих сільськогосподарських матеріалів.....	21
2.2 Пошук шляхів підвищення енергоефективності процесу сушіння ріпаку	27
2.3 Висновки до розділу 2	31
РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	32
3.1 Програма експериментальних досліджень	32
3.2 Лабораторне обладнання, прилади і апаратура.....	32
3.3 Методика визначення вологості насіння ріпаку	35
3.4 Методика визначення енергії проростання та схожості насіння ріпаку.....	38
3.5 Висновки до розділу 3	39
РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	40
4.1 Визначення вологості насіння ріпаку	40
4.2 Дослідження кінетики сушіння насінного ріпаку у товстому шарі	42
4.3 Вплив температури та початкової вологості на схожість ріпаку	47
4.4 Висновки до розділу 4	48
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	49
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	51
ДОДАТКИ	53

ВСТУП

Ріпак - найважливіша технічна культура, що має велике народногосподарське значення. Підвищений інтерес до ріпаку обумовлений гарною пристосованістю цієї рослини до помірного клімату, високою продуктивністю сучасних сортів, прогресивною технологією вирощування, потребою в рослинних оліях і високобілкових кормах, що збільшується.

Ріпак має дві форми: озиму та яру. Вирощується ріпак як олійна та кормова культура. У озимих сортів ріпаку олійність насіння сягає 50%, а ярого – 43%, білка – 23%. Ріпакова олія використовується в їжу, застосовується в металургійній, лакофарбовій та інших галузях промисловості. При переробці насіння ріпаку безерукових сортів на олію залишаються макухи та шроти, що становлять цінний високобілковий корм для сільськогосподарських тварин.

Ріпак - високопродуктивна кормова культура, його зелена маса багата на протеїн, вітаміни, мінеральні речовини. Велика роль ріпаку як попередника. Озимий ріпак рано звільняє поле, покращує структуру ґрунту та його фітосанітарний стан, зменшує засміченість полів, сприяє накопиченню органічної речовини у ґрунті. Це збільшує врожайність наступних культур, особливо зернових. Ріпак представляє великий інтерес і як медонос. Значення ріпаку для людини сильно зросло до кінця ХХ століття, коли вона почала використовуватися для отримання біодизеля.

Актуальність дослідження. Процеси післязбирального обробітку насіннєвого ріпаку, а особливо сушіння, є дуже енергозатратними. Зменшити енерговитрати на цей процес можна внаслідок раціонального використання потенціалу сушильного агенту. Для реалізації вказаної задачі слід розробити оновлену конструкцію сушарки таких дисперсних матеріалів як ріпак. Зміна геометрії сушильної камери - реалізує вказану ідею інтенсифікації процесу сушіння. Такі дослідження є актуальними.

Метою роботи є забезпечення інтенсифікації технологічного процесу сушіння насіння ріпаку внаслідок розробки та обґрунтування конусоподібної

геометричної форми сушильної камери, що компенсує зміну параметрів агента сушіння за висотою шару зернового матеріалу.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- проаналізувати насіння технічних культур, зокрема ріпаку, як об'єкт обробки, а саме - капілярнопористе-колоїдне тіло, що піддається конвективному сушінню;
- встановити та проаналізувати відомі технології вирощування ріпаку, його збирання та зберігання, виділити переваги існуючих технологій та виявити недоліки;
- теоретично обґрунтувати методику розрахунку процесу сушіння ріпаку, виконати пошук шляхів підвищення енергоефективності процесу загалом;
- експериментально дослідити фізико-механічні властивості насіння ріпаку, як об'єкта конвективного сушіння;
- дослідити кінетику сушіння насіння ріпаку на основі наявного обладнання та з використанням відомих досліджень та технологій;
- розробити вдосконалену технологію процесу сушіння насіння ріпаку на основі застосування сушильної камери конусоподібної форми.

Об'єкт дослідження. Технологічний процес та технічні засоби сушіння ріпаку.

Предмет дослідження. Технологічна схеми сушарки з конусоподібною камерою сушіння та закономірності руху сушильного агента крізь шар матеріалу у сушарці.

Методи та способи вирішення задачі. Теоретичні дослідження виконано на основі застосування теорії сушіння, механіки, математичної статистики. Обчислення виконувались з використанням системи MathCad та Microsoft Excel. Експерименти проводилися із застосуванням типової та окремо виготовленої вимірювальної апаратури та пристроїв, стандартних та розроблених методик проведення експерименту.

Наукова новизна одержаних результатів.

- набули подальшого розвитку відомі методи сушіння насіння ріпаку із ефективним використанням потенціалу сушильного агента;

- набули розвитку експериментальні дослідження процесу сушіння насіння ріпаку в елементарному та товстому шарі, що дали можливість отримати раціональну форму камери сушіння;
- запропоновано систему вдосконалених технічних рішень та обґрунтовано конструктивно-технологічні параметри конусоподібної сушарки для сушіння насіння технічних сільськогосподарських культур, зокрема ріпаку.

Практичне значення одержаних результатів. За результатами теоретичних і експериментальних досліджень розроблена технологія енергозберігаючого сушіння дисперсних сільськогосподарських матеріалів та запропонована конструкція сушарки із конусоподібною камерою сушіння. Запропоновані результати досліджень можуть бути використані при вдосконаленні обладнання для післязбирального обробітку насіння технічних сільськогосподарських культур у фермерських господарствах та агрогосподарствах.

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 19 назв та 2 додатків. Основна частина викладена на 53 сторінках, містить 20 рисунків, 2 таблиці.

РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1. Особливості технології вирощування ріпаку

Ріпак є однією з найперспективніших олійних культур у загальносвітовому виробництві рослинних олій. Світове виробництво насіння ріпаку – близько 43 млн. т., що становить 12-14% загального обсягу виробництва основних олійних культур. Ріпаку відводиться важлива роль не тільки як джерелу харчової олії, але і як сировини для отримання ряду технічних продуктів, зокрема, виробництва метилових та етилових ефірів жирних кислот ріпакової олії (або біопалива). Завдяки збільшенню виробництва ріпаку можна полегшити вирішення продовольчої проблеми та забезпечити тваринництво цінними кормами.

Ріпак (*Brassica napus olifera* Metzg) відноситься до сімейства хрестоцвітих (Brassicaceae C ruciferae). Як сільськогосподарська культура ріпак відомий понад шість тисяч років. Але вчені не можуть дійти єдиної думки батьківщини ріпаку. Одні вважають, що він з'явився у Європі у північно-західних прибережних районах (Великобританія, Швеція, Нідерланди). На думку інших, батьківщина ріпаку – Середземномор'я. Треті називають батьківщиною ріпаку Індію.

У Європі ріпак став відомий у XIII столітті, а обробляти його почали наприкінці XVII століття, спочатку у Бельгії, Голландії, потім у Німеччині, Швеції, Швейцарії та Польщі [1-5].

Поширенню обробітку ріпаку сприяло те, що він є не тільки джерелом рослинної олії, а й представляє універсальну кормову культуру – одне з найважливіших джерел кормового білка. За своїми харчовими та кормовими якостями ріпак значно перевершує багато сільськогосподарських культур.

На корм тваринам можна використовувати ріпакову зелену масу, приготований з неї силос, саме насіння ріпаку і відходи їх переробки (макуха, шрот).

Найбільшу енергетичну цінність має насіння ріпаку, оскільки містить 40-48% жиру та 21-31% сирого протеїну при досить високих коефіцієнтах

перетравлюваності. (84,4 – 93,4%). Енергетична цінність макухи значно нижча, ніж насіння. Після вилучення олії макуха (шрот) має олійність 7-12% (1-5%) і вміст сирого протеїну 37-38% (до 42%). Ріпаківі макуху та шрот за енергетичною цінністю (11,3 та 10,4 МДж обмінної енергії) не поступаються соняшниковим. (11,4 та 10,6 МДж).

Для культури характерний інтенсивний темп формування врожаю – добовий приріст зеленої маси становить 0,5 т/га. За короткий проміжок часу він здатний формувати високі врожаї за відносно низької теплозабезпеченості. Ріпак дуже цінний і з агрономічної точки зору, оскільки сприяє підвищенню структури та родючості ґрунту, є зеленим добривом.



Рисунок 1.1 – Стиглий ріпак в полі

Застосування ріпаку як сидерату (вирощування з метою наступного заорювання) рівносильне внесенню гною, витрати при цьому в 1,5-2 рази нижчі. Біологічна активність ґрунту підвищується на 10-15%, втрати поживних речовин з інфільтраційними водами при промивному режимі ґрунту знижуються на 50%, ураженість пшениці, посіяної по пласту, хворобами зменшується на 30-50%, врожайність зерна збільшується на 5 – 10 ц . До всього перерахованого ріпак ще й чудовий медонос. За 25-30 днів цвітіння з кожного гектара бджоли збирають 90 кг

меду. На посівах ріпаку необхідне встановлення бджолиних вуликів із розрахунку 2 шт. на гектар.

Поліпшення якості ріпакової олії викликало у всьому світі збільшення на неї попиту. І вже в 1985 році обсяг виробництва ріпакової олії був вищим за обсяг виробництва соняшникової. Нині у багатьох країнах ріпак обробляється, передусім, як олійна культура. Олія широко вживається в їжу в багатьох країнах світу для смаження, для заправки салатів, маргарину і т.д. За смаковими якостями воно прирівнюється до оливкової, користується попитом і вважається однією з найкращих рослинних олій. Ріпакова олія довго зберігає прозорість, не набуває неприємного запаху під впливом повітря. У США олія з 1985 року має офіційний статус безпеки для споживання її людиною[5-10].

Як вище було сказано ріпак належить до сімейства хрестоцвітих. Рослина однорічна буває озимою (має високу продуктивність 45 ц/га) і яру (20-25 ц/га). Ріпак – рослина довгого дня, холодостійка, вимоглива до вологи та родючості ґрунту, добре росте в помірній зоні. При скороченні світлового дня вегетативна маса збільшується, а насіннева продуктивність знижується.

Розмножується ріпак насінням. Насіння ріпаку ярого проростає при температурі 1 ... 3 град С, (озимого -0,1 град С), сходи переносять заморозки до -5 град С (доросла рослина до -8 град С), оптимальна температура для проростання 14 ... 17 град С. Зростання та розвиток рослин до фази стеблуння відбуваються повільно. У цей час утворюється потужна коренева система та розеточне листя. Рослини мають сильно розвинений стрижневий корінь, що проникає у ґрунт на глибину більше двох метрів. Стебло пряме округле, висотою 0,3-1,5 м, гіллясте покрите восковим нальотом, сизо-зеленого або сизо-фіолетового забарвлення. Розеткові листя ліровидно-перистонадрізані мають дуже рідке опушення; стеблові листи - від ліроподібних (нижні) до подовжено-ланцетних (верхні). Кінцева лопать нижнього листа велика, тупо - овальна, по краю нерівнозубчаста; бічні лопаті (від 2 до 4 пар) дрібні, овальні або тупо трикутні. Через 2 тижні після відростання починаються фази стеблуння та бутонізації. Період бутонізації - цвітіння триває 20 ... 25 днів.

Висота рослин становить середньому: ярого 100-130 див, озимого до 180 див. Вегетаційний період у ріпаку озимого становить 290...320 днів, у ріпаку ярого - 80...120 днів.

Суцвіття у ріпаку – кистевидне (несе від 20 до 40 квіток), що відцвітає знизу до верху. Квітки порівняно великі, жовті, рідко білі, квітконіжки від 1,4 до 2,5 см. Пелюстки від 9 до 18 мм довжини, зверху закруглені, з поступовим переходом у короткий нігтик. Внутрішні тичинки 7-10 мм довжини, прямостоячі. Зовнішні довжини 5,0-8,5 мм. Тривалість цвітіння окремої квітки – три дні. Ріпак - факультативний самозапилювач, що утворює в середньому 70% насіння від самозапилення квіток і 30% від перехресного запилення комахами та вітром.



Рисунок 1.2 – Ріпак: 1, 2 – рослини у фазах розвинених сходів і цвітіння – плодоутворення; 3 – частина стебла із квітками й плодами; 4 – плід; 5 – насіння (угорі – збільшене).

Стручки довгі (5-10 см), вузькі (3-4 см), гладкі або слабогорбчасті. У стручці в середньому від 15 до 30 сірувато-чорного, чорно-коричневого або жовто-коричневого насіння округлої або кулястої форми діаметром 1,5-2,5 мм. Маса тисячі штук варіює від 2,6 - 5,0 г у ярого ріпаку і 4,0 - 7,0 г у озимого. Насіння зберігає схожість 5 - 6 років. Ріпак - рослина вологолюбна. За період вегетації ріпак споживає у 1,5...2 рази більше води, ніж зернові культури. Тому в посушливі роки його врожайність сильно знижується, хороші врожаї ріпак дає на помірно засолених ґрунтах із кислотністю, близькою до оптимальної (рН 6,5...6,8). Однак ріпак не переносить сирі ґрунти з близьким заляганням ґрунтових вод, заболочені та важкі глинисті ділянки.

Ріпак пред'являє високі вимоги до родючості ґрунту, тому чуйний на внесення мінеральних добрив. Потреби ріпаку до умов зростання – високі. На формування 1 центру основної продукції він витрачає азоту, фосфору та калію вдвічі, а кальцію, магнію, бору, сірки в 3-4 рази більше, ніж зернові культури. Максимальне споживання елементів мінерального харчування посідає період бутонізації-цвітіння. З урожаєм 20 ц насіння з 1 га рослини виносять із ґрунту 110 кг азоту, 60 кг фосфору та 100 кг калію. Найбільш небезпечні шкідники ріпаку хрестоцвіті блішки, ріпаковий пильщик, ріпаковий квіткоїд, капустаєна попелиця. До найпоширеніших хвороб ріпаку відносяться альтернаріоз, борошниста роса, хибна борошниста роса, чорна ніжка, кореневі гнилі.

Збирання ріпаку має свої особливості: рослини нахилиються убік, листя та стебла верхньої частини підсихають і утворюють своєрідний переплетений рослинний килим. Слід зазначити, що сьогодні запроваджено в практику нові високоврожайні сорти та гібриди ярого та озимого ріпаку, стійкі до осипання та вилягання, що гарантує збирання врожаю з мінімальними втратами.

Ріпак збирають у фазі жовто-зеленої стиглості, коли в нижніх стручках центральної гілки більшості рослин насіння набуває властивого сорту кольору, а вологість насіння знижується до 30-33%. Зріз не нижче 15-20 см. Збирання проводять з негайною сушкою купу насіння до 8% їх вологості. Для очищення та

сортування насіннєвого матеріалу в основному використовують насіннячисні машини «Петкус-Селектра».

Однією зі специфічних особливостей ріпаку є неоднчасне дозрівання насіння по висоті рослини. Тому для отримання якісної олійної сировини поряд зі зниженням вологості насіннєва маса ріпаку обов'язково має пройти післяприбиральне дозрівання. Тривалість цього періоду є сортовою ознакою і залежить від вихідної якості та ступеня зрілості насіння, а також умов навколишнього середовища [7,10-15].

Насіння ріпаку – дрібне, неправильної округлої форми, може мати сіро-чорний, чорно-коричневий або жовто-коричневий колір. Маса 1000 шт. насіння ріпаку коливається, як було зазначено вище, від 2,6 – 5,0 грамів у ярого ріпаку і 4,0 – 7,0 грамів у озимого, об'ємна маса насіння близько 636 кг/м³. У насінні ріпаку міститься: олії – 40-45%, білка – 18-22% (білки добре збалансовані за амінокислотним складом, 5% із загальної кількості амінокислот припадає на частку сірковмісних амінокислот), клітковини – 6-7%, фосфоліпідів 0,2 -1,2%, що характеризуються підвищеним вмістом негідратованих форм. Насіння ріпаку містить природні антиоксиданти – токофероли (вітамін Е), фенольні сполуки та таніни. Для насіння ріпаку характерний високий вміст пігментів групи хлорофілів (10-150 мг/кг).

По жирно-кислотному складу особливість традиційних сортів, як було зазначено вище, високий вміст ерукової кислоти (до 50%), у нових сортах воно знижено до нуля. Так само в насінні ріпаку виявлено токсичні та надають гіркий смак органічні сірковмісні сполуки – тіоглікозиди, глікозинолати та їх похідні, які надають шкідливу дію на щитоподібну залозу та інші органи через високу реакційну здатність.

Залежно від сорту вміст тіоглікозидів (глікозинолатів) у насінні коливається в межах 0,5 – 6,0%. Насіння ріпаку має високоефективні ферменти – ліпазу, мірозіназу, ліпосигеназу, фосфоліпази. За певних умов тіоглікозиди розщеплюються з утворенням ряду сполук, що мають різні фізіологічні властивості аж до токсичних. Наприклад, ізотіоцианати викликають подразнення

слизової оболонки, мають слабку антибіотичну активність. Їх кількість, що переходить в олію, значною мірою залежить не тільки від їхнього вихідного вмісту в олії, а й від технології переробки насіння.

До насіння, призначеним для отримання харчових олій, пред'являють вимоги щодо вмісту в них ерукової кислоти та тіоглікозидів. Вміст ерукової кислоти в тригліцеридах олії насіння не повинен перевищувати 5%, а тіоглікозидів 3%. Досягнення селекції зі створення безерукових сортів ріпаку з низьким вмістом тіоглікозидів (сорт 00 – канола) дозволили перевести ріпакову олію в розряд харчових і значно покращити якість вироблених макух і шротів, оскільки ці сполуки при маслодобутку концентруються саме в цих продуктах переробки олійного насіння так і у вигляді продуктів їхнього ферментативного розпаду.

Ріпакова олія – висококалорійний продукт, що широко використовується в натуральному вигляді на харчові цілі, для приготування маргаринів та майонезів, у консервному та косметичному виробництві як аналог оливкової олії. З погляду фізіології харчування людини ріпакова олія має перевагу над іншими рослинними оліями, оскільки містить усі фізіологічно важливі кислоти в оптимальному співвідношенні. У ньому мало насичених та помірної кількості поліненасичених незамінних жирних кислот лінолевої (~19-20%) та ліноленової (до 9%), які не синтезуються в організмі тварин. А за вмістом мононенасичених кислот воно стоїть на другому місці після оливкової (містить 55 – 63% олеїнової кислоти).

Завдяки своєму складу, ріпакова олія дуже корисна. Вживання ріпакової олії сприяє поліпшенню обміну речовин в організмі людини, зменшує можливість тромбоутворення, протидіють розвитку серцево-судинних захворювань, знижують і регулюють вміст холестерину в крові [11-18].

Олія ріпаку привертає дедалі більшу увагу як джерело відновлюваної сировини для хімічної промисловості та енергетики.

Спектр його використання для технічних цілей надзвичайно широкий – від використання як вихідний матеріал для хімічного синтезу до застосування у вигляді мастил та перспективного виду палива. Широке застосування ріпакова

олія знаходиться у каучуковій та сталеливарній промисловостях. Для харчових цілей та для виробництва маргарину бажано мати олію без ерукової кислоти або з мінімальним її вмістом, у той час як для технічних цілей навпаки бажано її високий вміст.

Хімічні похідні ерукової кислоти відомі як ерукаміди, що використовуються для надання властивостей еластичності та слизькості поліетиленової плівки. Крім того, ерукову кислоту за допомогою озону перетворюють на брасилінову та пеларгонову кислоти, які використовують для виробництва нейлонів, пластифікаторів, модифікованих каучуків, фармацевтичних препаратів, ароматичних речовин тощо. Макуха і шрот, що отримуються з насіння ріпаку, містять до 37 - 43% цінного білка. За рівнем амінокислот, насамперед незамінних, насіння ріпаку наближається до сої. Соевий шрот, порівняно з ріпаковим, містить більше лізину, але бідніший за сумою метіоніну та цистину.

Ріпаковий макуха і шрот за енергетичною цінністю (11,3 та 10,4 МДж обмінної енергії) не поступається соняшниковим (11,4 та 10,6 МДж відповідно).

За вмістом кальцію, фосфору, магнію, міді та марганцю рапсові макуху та шрот перевершують соєві. Доступність у них кальцію становить 68%, фосфору – 75%, магнію – 62%, марганцю – 54%, міді – 74%, цинку – 44%. Ріпаковий шрот містить значну кількість холіну, ніацину, рибофлавіну, фолієвої кислоти та тіаміну. Ріпакові макухи та шроти використовуються як поживні добавки при складанні комбікормів.

1.2. Збирання та зберігання ріпаку

Ріпак прибирають двома способами - прямим або роздільним способом. Яким способом забирати, як правило, вирішують на місці.

Пряме комбінування використовують на полях з рівномірним дозріванням рослин та вологістю насіння 12-16%. В інших випадках краще збирати врожай роздільним способом. Озимий ріпак збирають, коли більшість насіння має чорний

колір, яке вологість вбирається у 15%, тобто. приблизно через 55-60 днів після закінчення цвітіння. При обмолоті стежать, щоб насіння не пошкоджувалося, тому що при зберіганні якість такого насіння погіршується. Фахівці вважають, що технологічна стиглість озимого ріпаку досягнута в тому випадку, коли насіння — темно-буре або чорне, а при дотику між собою рослини «шелестять» у стручках. Якщо таке насіння розгризти – почуєте тріск, якщо роздавити – побачите сік жовто-зеленого кольору. Збирати насіння слід за оптимальної вологості - 12%, тому що збирання при 10% вологості насіння викликає великі збитки від осипання, а за 14% - весь прибуток заберуть витрати на сушіння насіння.



Рисунок 1.3 – Збирання ріпаку

Косити ярої ріпаку краще тоді, коли 30-50% стручків у нижній частині стебла мають насіння коричневого кольору, або приблизно на 50-60 день після цвітіння, поле має жовтуватий колір. Насіння в стручках на нижній частині стебла чорне, а на верхній — ще зелене. Більш ранні косовиці викликають втрати врожаю до 8%, а олія має зелений колір внаслідок надлишкового вмісту хлорофілу. Через 7-14 днів після скошування стебла рослин стає крихким, насіння - чорним і твердим, а вологість становить 10-15%. Затягий ріпак можна починати

молотити. Негайне очищення обмолоченої маси відбувається у два етапи: первинного – від грубого та легкого сміття перед сушінням та вторинного – з вимогами згідно з цільовим призначенням. І тому пристосовано цілий комплекс машин. Дуже важливо відразу охолодити зібрану купу і своєчасно розпочати сушіння сировини. Пам'ятайте, що внаслідок високої вологості, особливо в дощову погоду, тривалість сушіння насіння ріпаку вчетверо вища, ніж зернових. Слідкуйте, щоб його доопрацювання не заважало іншим культурам. Насіння, призначене для висіву, повинно мати вологість 10-12%, а для промислової переробки та тривалого зберігання - 7-8%.

Насіння сушать у підлогових сушарках, пропускаючи через них протягом 2-3 діб холодне повітря, а потім тепле з температурою не вище 30-35°C. Перегріте насіння втрачає якості, а виготовлене з нього масло - смакове. Сушарки, які перемішують ріпак під час сушіння, дозволяють використовувати більш високу температуру повітря, а при його вологості нижче 12% температура у пропорційних сушарках може досягати 45°C. За вищою вологістю вона не повинна перевищувати 40°C. Фахівці вважають, що за допомогою компресійного холодильника можна зберігати як сухий, так і вологий ріпак без зниження його якості. Але навіть сухий ріпак можна консервувати лише за умови охолодження. Температура зберігання вологого ріпаку, внаслідок його можливого швидкого проростання, не має перевищувати 15°C. Стандартна чистота насіння має бути не менше 98%. При зберіганні необхідно постійно провітрювати, і робити це краще вночі. Різниця температур між сховищем довкіллям не повинна перевищувати 5°C. Якщо відбувається значне підвищення температури, потрібно відразу провітрювати приміщення, а насіння перемішати [12-18].

Дослідженнями встановлено, що критична вологість насіння ріпаку олійністю 45% при 20°C знаходиться в межах 7,2-7,6%. Неодночасне дозрівання насіння на рослинах призводить до різної якості тільки зібраної сировини, а це може спричинити деякі проблеми при зберіганні. Щоб уникнути цього, насіння ріпаку має пройти післяжнивне дозрівання, яке залежить від сорту, вихідної якості, ступеня дозрівання, вологості, температури та інших факторів. У насінні

озимого ріпаку цей період менший за тривалість, ніж у ярих сортів, і становить 10°C — 20 діб, а з підвищенням температури до 20°C — скорочується майже в 4 рази. Для насіння ярого ріпаку період післяжнивного дозрівання коливається в залежності від температури зберігання від 20 (при температурі 30 ° C) до 70-80 (20 ° C) діб. Зберігати ріпак краще в скиртах (заввишки не більше 1,5 м) або в мішках (3-6 рядів у штабелі). Температуру 1,5-метрового насипу потрібно вимірювати на трьох глибинах двічі на тиждень. Верхні ряди мішків перекладають униз, а нижні – вгору. При зберіганні насіння вологістю 12% у мішках у перші два місяці зберігання їх перекладають кожні 15 днів. Інакше знижується його схожість.

1.3. Висновки, мета та завдання дослідження

На основі проведеного аналізу можна зробити висновок, що великі енерговитрати процесу сушіння виникають внаслідок неповного використання потенціалу сушильного агента. Це, фактично, стосується усіх типів існуючих сушарок. Недосконала робота відомих конвективних протитечійних зерносушарок барабанного і бункерного типу зумовлена втратою напору сушильного агента за висотою камери сушіння. Шар зерна створює аеродинамічний опір для руху сушильного агента. Дослідженню цього явища присвячено достатньо багато робіт, однак чіткого вирішення немає. У цих роботах, для вирішення проблеми нерівномірного проходження сушильного агента кріз шар зерна, пропонується використовувати механічні системи активізації процесу сушіння за рахунок розпушування і перемішування матеріалу в сушарці. Однак такий підхід потребує додаткових енерговитрат на приводи механізмів активізації процесу.

Саме тому процес руху сушильного агента через шар зернового матеріалу в сушильній камері вимагає додаткового дослідження.

Для вирішення вказаних недоліків слід виконати наступні задачі дослідження:

- проаналізувати насіння технічних культур, зокрема ріпаку, як об'єкт обробки, а саме - капілярнопористе-колоїдне тіло, що піддається конвективному сушінню;
- встановити та проаналізувати відомі технології вирощування ріпаку, його збирання та зберігання, виділити переваги існуючих технологій та виявити недоліки;
- теоретично обґрунтувати методику розрахунку процесу сушіння ріпаку, виконати пошук шляхів підвищення енергоефективності процесу загалом;
- експериментально дослідити фізико-механічні властивості насіння ріпаку, як об'єкта конвективного сушіння;
- дослідити кінетику сушіння насіння ріпаку на основі наявного обладнання та з використанням відомих досліджень та технологій;
- розробити вдосконалену технологію процесу сушіння насіння ріпаку на основі застосування сушильної камери конусоподібної форми.

РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ НАСІННЯ РІПАКУ

2.1 Основи теорії сушіння насінневих сільськогосподарських матеріалів

Сушкою називається процес видалення вологи з твердих вологих, пастоподібних або рідких матеріалів (суспензій) шляхом її випаровування і відведення пари, що утворилися. Сушіння є складним тепло-масообмінним процесом. Швидкість сушіння у багатьох випадках визначається швидкістю внутрішньо-дифузійного перенесення вологи у твердому тілі.

Сушці піддаються харчові матеріали, що знаходяться в різному агрегатному стані, а саме: гранульовані, формовані та зернисті; пастоподібні; розчини та суспензії. Теорія сушіння розглядає загальні аналітичні та експериментальні закономірності протікання процесу та описує механізм його протікання. Технологія сушіння вивчає властивості матеріалів. З метою вибору раціонального способу та режиму сушіння. Техніка сушіння включає загальні методи проведення процесів у суш-их установках різних типів, а також їх розрахунки та проектування. Вибір методу сушіння та типу сушарки здійснюється на основі комплексного аналізу властивостей харчових матеріалів як об'єктів сушіння.

Найбільш важливими відмінними властивостями матеріалів, які слід враховувати при виборі методу сушіння, є низька термостійкість, схильність до окислення та деструкції; схильність до короблення та втрати товарного вигляду; неоднорідність матеріалу за початковим вмістом води; наявність активних біохімічних та хімічно активних речовин та ряд інших особливостей.

Основними шляхами інтенсифікації процесів сушіння та підвищення економічності роботи сушарок є:

- проведення процесів в умовах ефективної гідродинамічної обстановки, що дозволяє значно збільшити коефіцієнти тепломасовіддачі;

- застосування комбінованих способів підведення теплоти, що дозволяє найбільш раціонально нагрівати матеріал до температури сушіння;
- створення комбінованих сушильних агрегатів, наприклад перший ступінь сушіння - в розведеному псевдозрідженому шарі, друга - сушіння в псевдозріджувальному шарі; розпилювальне сушіння в поєднанні з сушінням у псевдозрідженому шарі та ін;
- створення сушильних агрегатів із замкнутим циклом теплоносія.

За способом підведення теплоти до матеріалу, що висушується, застосовуються наступні методи сушіння:

- конвективна, або повітряна, сушіння - підведення теплоти здійснюється при безпосередньому контакті сушильного агента з матеріалом, що висушується;
- контактна сушка - шляхом передачі теплоти від теплоносія (наприклад, насиченої водяної пари) до матеріалу через стінку, що розділяє їх;
- радіаційне сушіння - шляхом передачі теплоти інфрачервоними випромінювачами;
- діелектричне сушіння (НВЧ-сушіння) - шляхом нагрівання матеріалу в полі струмів високої частоти;
 - сублимаційна сушка - сушка в глибокому вакуумі в замороженому стані.

Вологість (вологівміст) - величина, що показує вміст вологи в матеріалі, визначений по відношенню до маси сухого матеріалу і виражена у відсотках.

Пов'язана волога може існувати в таких формах:

- хімічно пов'язана волога, що утворюється в результаті хімічної реакції;
- фізико-хімічно пов'язана волога, що утворюється при адсорбції молекул газу через напівнепроникну оболонку;
- фізико-механічно пов'язана волога, що виникає при поглинанні пар мікрокапілярами ($r < 10^{-7}$), макрокапілярами ($r > 10^{-7}$), а також при утворенні гелю.

Найбільш легко видаляється поверхнева волога і найважче - хімічно пов'язана волога.

Хімічно пов'язана волога являє собою воду гідроксиду, що увійшла в результаті реакції гідратації до складу гідроксидів і поєднань типу кристалогідратів. Цю вологу можна видалити внаслідок прожарювання.

Адсорбційно-пов'язана волога утримується біля поверхні розділу колоїдних частинок з навколишнім середовищем. Маючи велику площу поверхні, колоїдні структури мають велику адсорбційну здатність. Адсорбційна волога утримується молекулярним силовим полем. Адсорбція вологи супроводжується виділенням теплоти, яка називається теплотою гідратації.

Осмотично пов'язана волога, або волога набухання, знаходиться всередині скелета матеріалу та утримується осмотичними силами.

Капілярно-пов'язана волога знаходиться всередині макро-і мікрокапілярів. Ця волога механічно пов'язана з матеріалом і відносно легко видаляється. Тиск пари над поверхнею матеріалу тим менше, чим міцніший зв'язок між водою та матеріалом. Найбільш міцний цей зв'язок у гігроскопічних речовин.

Рівноважна вологість матеріалів - це здатність матеріалу утримувати вологу. Рівноважним називається вміст вологи, при якому тиск пари над матеріалом дорівнює парціальному тиску пари в навколишньому просторі. Якщо позначимо P_p – парціальний тиск водяної пари у суміші з повітрям, P_m – тиск водяної пари у суміші з повітрям. При контакті матеріалу з вологим повітрям можливі 3 стани:

$P_m < P_p$ – десорбція вологи з матеріалів довкілля, тобто – сушіння;

$P_m > P_p$ - сорбція, тобто поглинання матеріалом вологи із довкілля (зволоження);

$P_m = P_p$ - динамічна рівновага, яка характеризується рівноважним вмістом вологи.

Площа між ізотермами сорбції та десорбції характеризує гістерезис, який залежить від кількості повітря сорбованими капілярами. Чим менше площа гістерези, тим ближче якісні та кількісні характеристики досліджуваного матеріалу. Перший – це тривалий метод, а другий потребує складної апаратури.

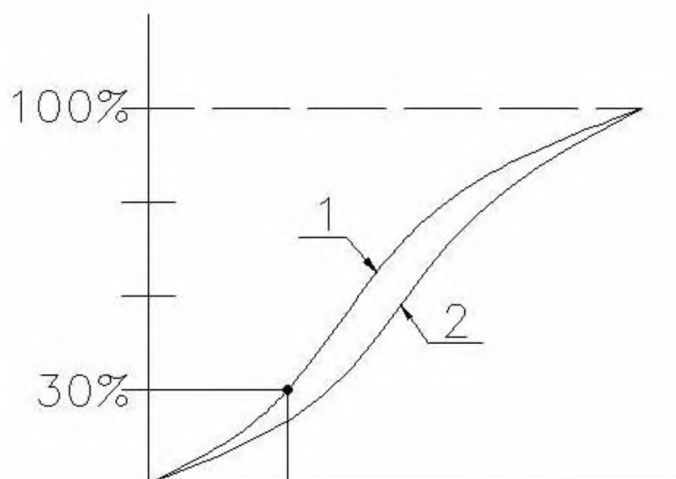


Рисунок 2.1 – Криві: 1) ізотерма рівноважної вологості при сорбції;
2) при десорбції.

Сушіння є складним тепло-масообмінним процесом. Швидкість сушіння у багатьох випадках визначається швидкістю внутрішньо-дифузійного перенесення вологи у твердому тілі. Сушці піддаються харчові матеріали, що знаходяться в різному агрегатному стані, а саме: гранульовані, формовані та зернисті; пастоподібні; розчини та суспензії. Вибір методу сушіння та типу сушарки здійснюється на основі комплексного аналізу властивостей харчових матеріалів як об'єктів сушіння. Існує кілька способів сушіння:

Конвективний – заснований на підведенні нагрітого сухого повітря до матеріалу, що висушується, в результаті чого відбувається розподіл вологи з матеріалу в навколишнє середовище. Застосовується для висушування як рідких, так і твердих сипких матеріалів. Радіаційна здійснюється шляхом передачі тепла інфрачервоним випромінювачем. Діелектричний (НВЧ) здійснюється шляхом нагрівання матеріалу в полі струму високої частоти. Сублімаційна - сушіння в глибокому вакуумі в замороженому стані. Контактна (кондуктивний) – шляхом передачі теплоти від теплоносія (наприклад, насиченої водяної пари) до матеріалу через стінку, що розділяє їх.

Теорія сушіння була розроблена на основі фундаментальних аналітичних і експериментальних результатів наукових досліджень. У процесі сушіння видаляється волога, яка зв'язана із матеріалом фізико-механічними і фізико-

хімічними зв'язками. Волога з внутрішніх шарів матеріалу переміщується до поверхні, а тоді з поверхні - випаровується назовні.

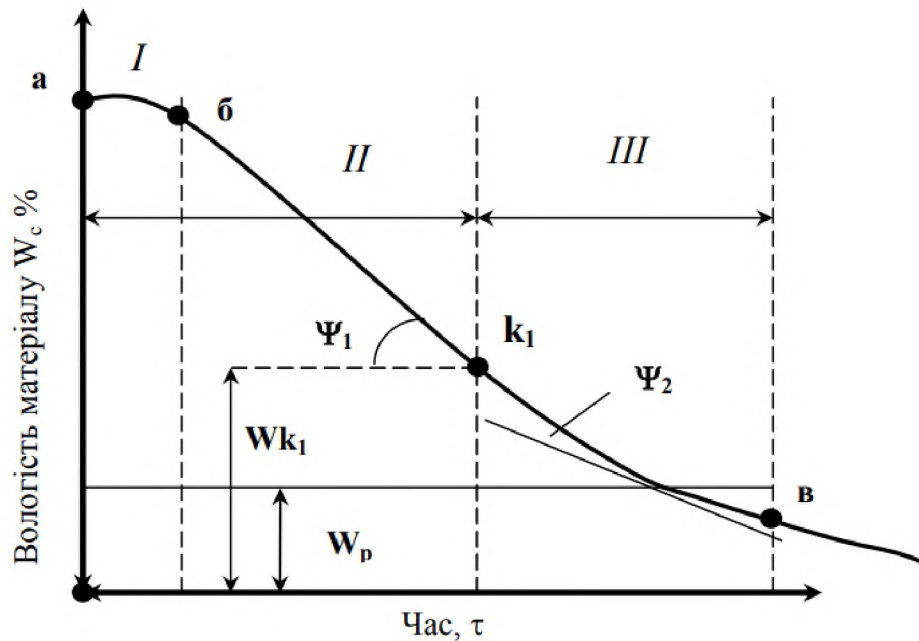


Рисунок 2.2 - Крива сушіння

Сам процес висушування може бути представлено кривими сушки, що показують зміну середньої вологості матеріалу W_c протягом часу τ . Огляд таких кривих свідчить, що на початку, коли вологість матеріалу зменшується відповідно до кривої ab спостерігається нетривала стадія нагріву матеріалу (I). Тривалість в часі цього етапу залежить від товщини матеріалу. Тоді зміна

вологості протікає за лінійним законом:

$$\psi_1 = \frac{dW^c}{d\tau} = const.$$

Даний період називають періодом постійної швидкості сушіння (II) і його представляє лінія $(b-k_1)$. У етапі II температура поверхні матеріалу є рівною температурі мокрого термометра. Тут відбувається адіабатне випаровування вологи. Якщо присутня вільна волога і парціальний тиск водяної пари над матеріалом дорівнює тискові над чистою водою та й не є залежним ні від вологості матеріалу, ні від його параметрів і особливостей.

Тангенс кута нахилу дотичної до лінії сушіння в будь-якій момент часу (її точці) визначає швидкість сушіння (%/год) і визначається за формулою:

$$\operatorname{tg}\psi = -\frac{dW^c}{d\tau} = N. \quad (2.1)$$

Методом графічного диференціювання будуються криві швидкості сушіння матеріалу. Наприклад, для рис. 2.1 крива швидкості сушіння матиме вигляд, що є показано на рис.2.2. Для того, аби проаналізувати процес процесів сушіння користуються поняттями інтенсивності I і швидкості сушіння N . У

етап постійної швидкості сушіння температура матеріалу є постійною, $\frac{dt}{d\tau} = 0$ і якщо теплота, що є необхідною для випаровування вологи, забирається з-зовні, з повітря шляхом конвекції теплообміну, то інтенсивність випаровування I_m пропорційна швидкості потоку теплоти на поверхні тіла лінійно.

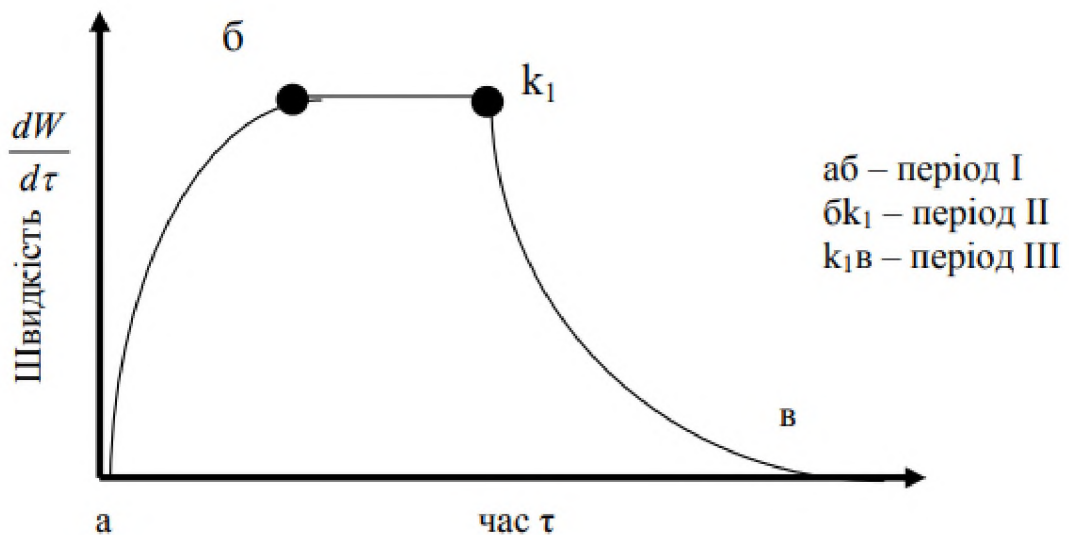


Рисунок 2.3 – Крива швидкості сушіння

Для різних випадків сушіння нараховують шість можливих форм зміни швидкості сушіння.

$$I_m = \frac{q}{r} = \frac{N_0}{100} R_v \rho_0 / r = \left(\frac{dW^c}{d\tau} \right)_0 \frac{R_v}{100} \cdot \frac{\rho_0}{r},$$

де: $N_0 = \left(\frac{dW^c}{d\tau} \right)_0$ – швидкість сушіння в періоді постійної швидкості, %/год.;

$R_v = \frac{V}{F}$ – відношення об'єму тіла до його площі, м;

ρ_0 – густина абсолютно сухого матеріалу, кг/м³;

r – теплота пароутворення, кДж/кг.

2.2. Пошук шляхів підвищення енергоефективності процесу сушіння ріпаку

З огляду на досить велику кількість наукових робіт, актуальність проблеми пошуку енергоефективності процесу сушіння насіння ріпаку не зменшується, а навпаки збільшується. Це пов'язано з підвищенням цін на енергоносії та паливно-мастильні матеріали.

Нині зерносушильна техніка представлена лінійкою конструкцій для сушіння зернових культур. Найбільше поширені є: шахтні, колонкові та барабанні сушарки зерна. Питомі витрати теплоти на сушіння в таких сушильних комплексах складає 4350–5200 кДж/кг випар. вологи (рис. 2.4). Найбільш економічно ефективними за даними [3-5] є шахтні рециркуляційні та колонкові зерносушарки. Однак, за питомими витратами тепла не відповідають нормативним вимогам до продовольчого та насінневого зернового матеріалу.

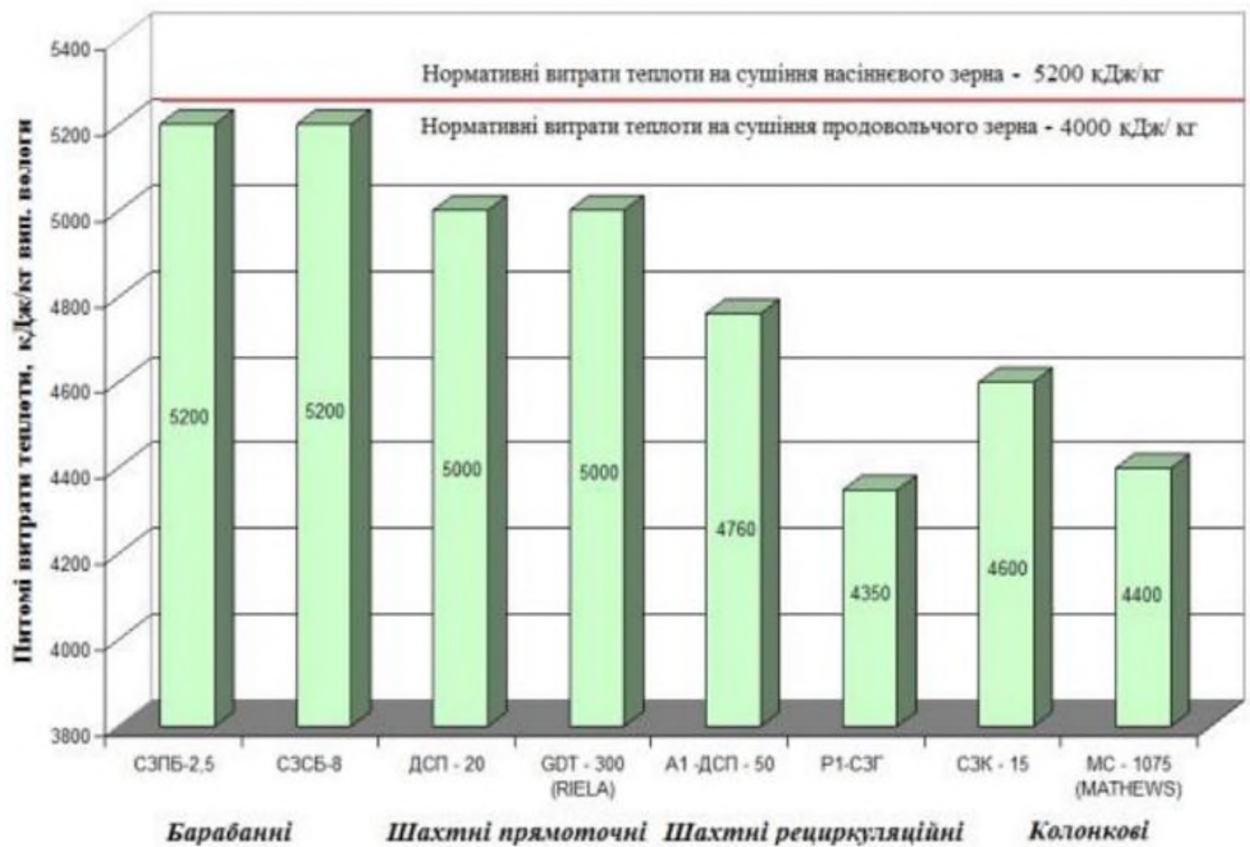


Рисунок 2.4 - Питомі витрати тепла на сушіння зерна залежно від типів сушарок

Тому необхідно охарактеризувати втрати теплоти на процес сушіння.

Втрати теплоти на процес сушіння зерна $\sum Q$ (кДж/кг) визначаємо за формулою теплового балансу в шахтній зерносушарці ДСП-32:

$$Q=Q_1+Q_2+Q_3+ Q_4+ Q_5+Q_6,$$

де Q_1 – втрати теплоти на випаровування вологи (53%), кДж/кг;

Q_2 – втрати теплоти на нагрівання зерна (10%), кДж/кг;

Q_3 – втрати теплоти на нагрівання транспортних засобів (5%), кДж/кг;

Q_4 – втрати теплоти з відпрацьованим теплоносієм (23,9%), кДж/кг;

Q_5 – втрати теплоти від корпусу зерносушарки (6,9%), кДж/кг;

Q_6 – втрати теплоти від неповного згоряння палива (1%), кДж/кг.

Втрати тепла найбільші на випаровування вологи з відпрацьованим теплоносієм. Це є резервом для зменшення енерговитрат і реалізується шляхом застосування ефективних технологій сушіння. Щодо заходів енергоефективності процесу слід виділити активне вентилявання. Питомі витрати тепла для кожної згаданої технології вказано в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Питомі витрати теплоти

№ з/п	Технологія	Витрати теплоти, кДж/кг	Переваги	Недоліки
1	2	3	4	5
1	Сушіння з використанням традиційних видів палива	5000–11000	Високе видалення вологи, не потребує додаткового обладнання	Великі енергетичні витрати, зниження якості в разі порушенні технології
2	Активне вентилявання	2500–3000	Енергозбереження, висока якість насіння	Тривалість процесу, невелике видалення вологи
3	Застосування енергозберігаючих технологій сушіння	3244–4800	Енергозбереження, висока якість продукції	Потрібні додаткові капітальні вкладення

Аналізуючи відомі дослідження, можна сформувати ряд заходів задля підвищення енергоефективності сушарок насіння ріпаку [13-15]:

1. слід чітко формувати і застосовувати поєднання технологічних режимів сушіння;
2. задля підвищення інтенсивності процесу сушіння варто перемішувати насіння ріпаку різної вологості і температури;
3. можна використовувати попередній нагрів зерен ріпаку рециркуляційним шляхом;
4. допоможе також автоматизація процесу сушіння. Це контроль температури, вологості, швидкості сушильного агенту та насіння для збереження якісних характеристик зернового матеріалу;
5. вдосконалення засобів сушіння, їх конструкцій внаслідок рівномірного розподілу температури та швидкості сушильного агенту. Постійне завантаження та вивантаження сухого зерна, зневоднення сушильного агенту;
6. повторне застосування відпрацьованого сушильного агенту та його тепла;
7. оптимальна організація роботи та технічний сервіс сушарок і паливних блоків, зменшення простоїв через відмову обладнання.

В ході конвективного сушіння агент сушки контактує з зерновим вологим матеріалом. При цьому відбувається процес відбирання вологи з зерна. Шар зернового матеріалу, через який просочується сушильний агент, формує аеродинамічний опір його просуванню. Це спричиняє зміну об'єму сушильного агенту стосовно кількості зерна за висотою сушильної камери, що піддається сушінню. Ця нерівномірність розподілу сушильного агенту і зерна призводить до утруднення процесу видалення вологи за шарами насіння ріпаку.

Дослідження вентилявання шару зернового матеріалу в вертикальному шарі дасть змогу обґрунтувати раціональні режимні параметри обладнання для сушіння та зменшити поганий вплив втрати напору потоку агенту сушіння.

Відомі результати свідчать, що з висотою шару ріпаку помітно зменшується напір потоку агенту сушіння. Наприклад, відомі дослідження, за якими при відомих лабораторних умовах, у випадку встановлення шару зерна

висотою $\sim 0,2$ м швидкість агента сушильного знижувалась до нульового значення.

Зменшення швидкості потоку повітря за висотою шару спричиняє до зниження витрати сушильного агента на одиницю об'єму ріпаку, що піддається сушінню, і спричиняє нерівномірне його сушування. Тому, для створення рівних умов виділення вологи для усіх шарів зернового матеріалу за висотою шару зерна, слід змінити форму камери сушіння.

Так як залежності втрати напору потоку повітря можна представити у вигляді лінійних формул то і зміна об'єму камери сушіння за висотою теж повинна змінюватись за лінійним законом. Цьому відповідає сушильна камера конусоподібної форми. Діаметр основи конуса змінюється від розміру D_{max} до D_{min} лінійно. Функціональна схема сушарки сипких матеріалів продемонстрована на рис.2.5. Дана конструкція сушарки дає можливість забезпечити однакову витрату сушильного агента за усім об'ємом ріпаку. Це формує рівні умови перебігу технологічного процесу видалення вологи.

Огляд наявних сушарок зернових матеріалів (в тому числі і ріпаку) із циліндричною камерою свідчить, що така конструкція сушарки погано забезпечує рівномірність сушіння за висотою шару матеріалу. Це внаслідок виникнення аеродинамічного опору сушильному агенту. Як наслідок, втрати напору потоку і виникнення нерівномірності вентилявання шарів ріпаку. Застосування камери сушіння у вигляді зрізаного циліндра дозволяє вирівняти витрату сушильного агента у сушарці. Величина нахилу твірної уявного конуса можна визначити на основі експериментальних даних продування шарів зерна.

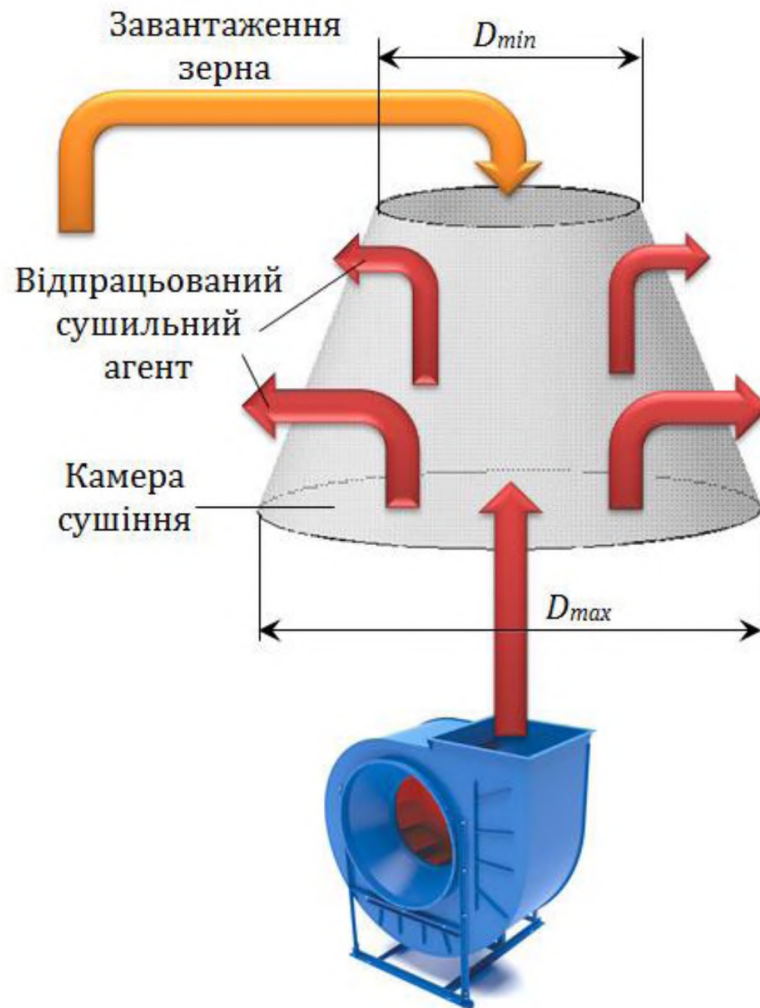


Рисунок 2.5 – Функціональна схема сушарки із конусоподібною камерою сушіння

2.3. Висновки до розділу 2

1. Проведено огляд відомої теорії сушіння зернових матеріалів, що може бути використано для аналізу процесу сушіння ріпаку;
2. Проведено теоретичний аналіз графічних залежностей конвективного сушіння зернових насінневих матеріалів. Запропоновано ряд рекомендацій для інтенсифікації процесу сушіння загалом;
3. Запропоновано конструкцію конусоподібної сушильної камери сушарки ріпаку, що дозволяє вирівняти витрату сушильного агенту за висотою шару матеріалу і інтенсифікувати процес сушіння.

РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Програма експериментальних досліджень

Для виконання поставлених у магістерській роботі завдань необхідно виконати ряд експериментальних досліджень. Є необхідність у проведенні експериментальних досліджень, аби встановити характер перебігу процесу сушіння насіння ріпаку. Тому програма експериментальних досліджень передбачає:

- 1) методика визначення вологості насіннєвого ріпаку;
- 2) методика дослідження процесу сушіння шару зернового матеріалу;
- 3) методика визначення схожості ріпакового насіння, залежно від режимів його сушіння.

3.2. Лабораторне обладнання, прилади і апаратура

Для проведення експериментального дослідження щодо визначення вмісту води в зерновій масі ріпаку, використовували сушильну електрошафу СНОЛ 3.5, загальний вигляд якого показано на рис. 3.1.



Рисунок 3.1- Загальний вигляд сушильної електрошафи СНОЛ 3.5

Сушильна електрошафа СНОЛ-3,5 призначена для сушіння виробів і матеріалів при температурі до 350 °С. Матеріал внутрішньої робочої камери - чорна сталь, що є покрита термостійкою фарбою. Електрошафа комплектується 3-ма перфорованими полицями. Електрошафа сушильна лабораторна СНО-3,5 з вентилятором обладнана системою автоматичного регулювання температури. Це відбувається на базі безконтактного реле та цифрового мікропроцесорного терморегулятора, який задає температуру, час набору температури і час витримки при вказаній температурі. Нагрівачі туди встановлені в пазах бокових стінок. Вентилятор, що розміщений на задній стінці печі, забезпечує циркуляцію повітря в горизонтальній площині. У печі є і витяжні вентиляційні отвори із заслінками для виведення газоподібних виділень при термообробці. Піч оброблена сучасними енергозберігаючими матеріалами.

Для дослідження також застосовували термометр-щуп та електронна вага, які зображенні на рис. 3.2.



Рисунок 3.2 - Загальний вигляд електронної ваги ТВЛ-0.5, та термометра-щупа.

Проведення експериментальних досліджень відбувалось з використанням розробленого обладнання, схема якого показана на рис. 3.3.

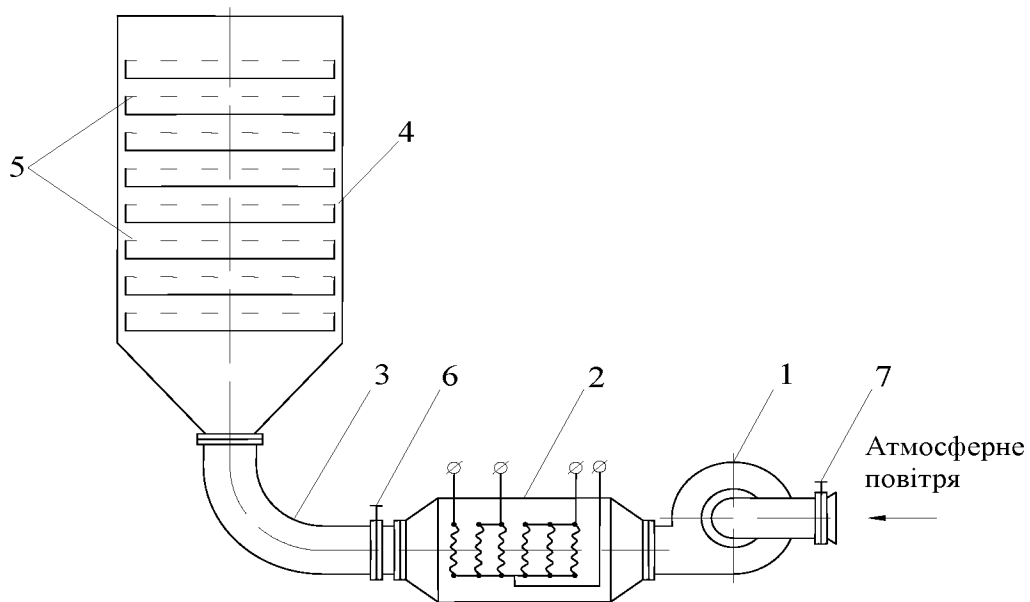


Рисунок 3.3 - Схема лабораторної установки для дослідження процесу вентиляції насіння пшениці: 1 – вентилятор; 2 – калорифер; 3 – гнучке з’єднання; 4 – камера; 5 – касети з перфорованим днищем; 6, 7 – заслінки. Установка, яка складається з вентилятора 1, калорифера 2, гнучкого з’єднання 3, сушильної камери 4, де встановлено вісім касет з перфорованим днищем 5.

Для регулювання витрати сушильного агенту і швидкості його подачі встановлена заслінка 6 на входному отворі калорифера та заслінка 7 на вході вентилятора. При необхідності подачі атмосферного повітря калорифер вимикають.



Рисунок 3.4 - Лабораторна установка для дослідження процесу сушіння насіння ріпаку

3. 3. Методика визначення вологості насіння ріпаку

Вологість є визначальним показником збереження зерна. Зерно, крім сухих речовин, містить воду. Частина її, що входить до складу молекул білка, крохмалю, називається зв'язаною. Решта води, що знаходиться в гігроскопічному стані, називається вільною. Вільну воду можна виділити висушуванням швидше, ніж зв'язану. Вільна волога має всі характерні властивості води, а саме: питому масу, діелектричну проникність, здатність бути розчинником. Внаслідок цього вода є легкорухливою. До того ж вільна волога підвищує активність ферментів зерна, що призводить до пошкодження при зберіганні. Зв'язана вода у фізіологічних процесах участі не бере і не впливає на якість зерна під час зберігання. Вологість, за межами якої в зерні з'являється вільна волога, називається критичною, її величина залежить від

хімічного складу зерна. Так, наприклад, для пшениці вона становить близько 14,5%, для гороху 16%.

За вологістю зерно поділяється на сухе, середньої сухості, вологе та сире.

Таблиця 3.1 – Вологість зерна різних культур, зібраних з відповідних стандартів

Зерно	Базисна норма	Сухе(не більше)	Середньої вологості	Вологе	Сире
Пшениця, жито	14,5	14,0	14,1...15,5	15,6...17,0	17,1
Овес	13,5	13,5	13,6...15,5	15,6...17,0	17,1
Соняшник	7,0	7,0	7,1...8,0	8,1...9,0	9,1
Гречка	14,5	14,5	14,6...15,5	15,6...17,0	17,1
Горох	15,0	14,0	14,1...16,0	16,1...20,0	20,1
Рис	14,0	14,0	14,1...15,5	15,6...17,0	17,1
Кукурудза	14,0	14,0	14,1...15,5	15,6...17,0	17,1

Розподіл цей зумовлений здатністю зерна до зберігання у звичайних умовах. Сухе зерно найбільш стійке, його можна закладати на тривале зберігання; зерно середньої сухості в теплий період потребує особливих умов зберігання та ретельного спостереження; вологе зерно можна зберігати лише в охолодженому стані; сире зерно без попереднього сушіння закладати на зберігання не допускається.

Вологість визначають прямим (дистиляцією) і непрямим методами, причому перевагу віддають останнім. Основою методу повного висушування є сушіння в електричній шафі при температурі 130°C протягом 60 хв. Додаткові – електрометричні методи ґрунтуються на властивостях зерна – діелектричній

проникності та електропровідності. Зазвичай із середньодобової проби беруть приблизно 30 г зерна згідно стандарту та за допомогою лабораторного млинка подрібнюють його. Розмелене зерно просіюють крізь сито з діаметром отворів 0,8 мм. Зауважимо, що для насіння соняшника подрібнення не передбачено.

При виконанні досліджень використовували наступні прилади і обладнання: сушильну шафу СНОЛ-3.5, електронні ваги з ціною поділки 0,01 г, бюкси, скляний посуд та щипці.

Скляні банки з притертими пробками забезпечують збереження зразків зерна в умовах стабільної вологості. На електронних вагах зважують пусті бюкси та відміряють наважки проб зерна. Спочатку пусті відкриті бюкси прогрівають в сушильній шафі при температурі 130°C протягом 60 хвилин.

Вологість зерна без попереднього підсушування (W) визначають у відсотках за формулою:

$$W = \frac{m_1 * m_2}{m_1} * 100\% \quad (3.1)$$

де m_1 та m_2 – маса наважки зерна (без ваги боксів) відповідно до і після висушування, г.

Перед проведенням сушіння ріпаку визначали початкову вологість вихідного ріпаку за відомою методикою, потім проводили штучне зволоження ріпаку до різної початкової вологості (12,0%; 14,5%; 17,0%; 19,5%; 22,0%; 24,5%).

Сушка проводилася на експериментальному сушильному стенді (рис.3.4). З метою покращення точності та полегшення обробки отриманої інформації під час проведення досліджень стенд доукомплектований допоміжним обладнанням: аналоговим цифровим перетворювачем та персональним комп'ютером. Температура повітря в сушильній камері та досліджуваного матеріалу реєструється за допомогою електронного термометра. Після встановлення на стенді заданого режиму досліджень, на штангу ваг у сушильній камері встановлюють касету з ріпаком та безперервно реєстрували

зменшення маси зразка в процесі сушіння за допомогою ваг, з'єднаних із комп'ютером.

Сушіння в елементарному шарі проводилася на різних температурах, з різною початковою вологістю та різною швидкістю повітря. Проведення експериментальних досліджень з сушіння ріпаку супроводжувалися дослідженням з проростання ріпаку в лабораторії Інституту технічної теплофізики НАН України.

3.4. Методика визначення енергії проростання та схожості насіння ріпаку

Так як під час роботи сушильної установки насіння ріпаку піддається впливу температур, необхідно було встановити ступінь непридатного насіння шляхом визначення енергії проростання і схожості насіння ріпаку.

Проби для визначення енергії проростання і схожості насіння відбирались довільно в різних складського приміщення і місцях місця зберігання насіння [5].

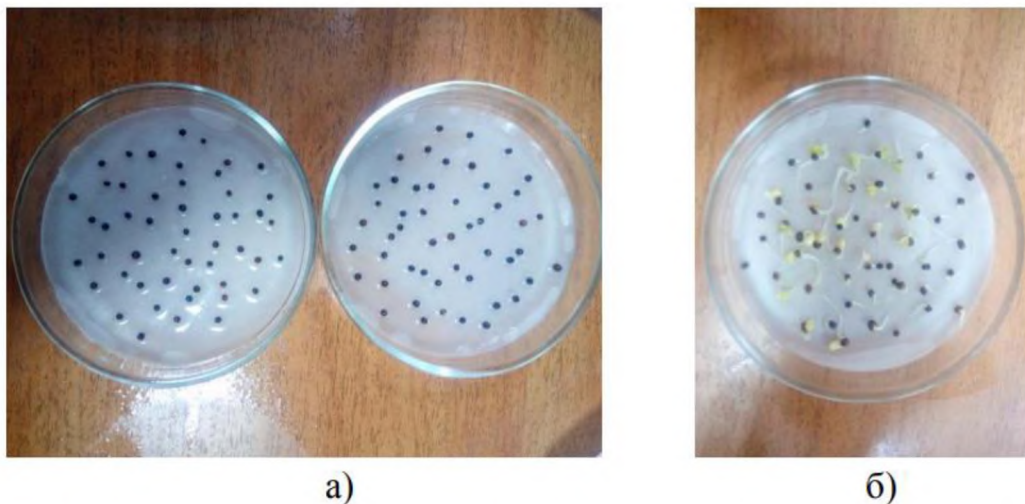


Рисунок 3.5 - Насіння ріпаку, розкладене на зволоженому фільтрувальному папері в чашках Петрі: а) початок дослідження, б) проросле

Для визначення посівних властивостей насіння ріпаку використовували ростильні з промитим річковим піском діаметром 0,5... 1,0 мм, термостат, температуру якого в робочому режимі можна змінювати від 20 до +55С_о і перевищенні заданої температури над температурою навколишнього повітря не менше 5° С.

Енергію проростання і схожість визначали згідно ДСТУ 1236-77. Насіння ріпаку з кожної відібраної проби висівали в окремі ростильні, в яких знаходився прожарений пісок діаметром 0,5...1,0мм. Пісок зволожували до 50...60% від його повної вологоємкості. Ростильні з висіяною в них певною кількістю насіння встановлювали в термостат і пророщували при температурі 20...25°С. При цьому слідкували, щоб пісок в ростильнях не пересихав. Контроль за насінням здійснювали на 5-й (енергія проростання) і 10-й (схожість) день.

Згідно стандартизованої методики, перевірку на енергію проростання і схожість проводили також через два місяці після проведення досліджень.

3.5. Висновки до розділу 3

1. Для проведення експериментальних досліджень було використано загальновідоме та розроблене лабораторне обладнання;
2. Встановлено методику визначення параметрів сушіння насіння ріпаку в товстому шарі;
3. Використано відому методику визначення енергії проростання та схожості для насіння ріпаку, що піддавалось дії різних температур в процесі сушіння.

РОЗДІЛ 4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1 Визначення вологості насіння ріпаку

При використанні сушарок сільськогосподарських зернових культур постає завдання правильного вибору режимів сушіння. Як відомо, насіння ріпаку більш схильне до перегріву через вміст жирів в порівнянні з традиційними зерновими культурами (пшениця, жито, ячмінь). Максимальна температура нагрівання насіння ріпаку, згідно з наявними даними, становить не більше 35-40 °С (для насінневого) та 45-55 °С (для продовольчого). В умовах щільного (нерухомого) шару та відсутності засобів регулювання температури агенту сушіння ризик перегріву насіння зростає. Перевищення даних температурних режимів у процесі сушіння призводить до погіршення посівних та товарних якостей ріпаку.

У період збирання були проведені дослідження процесу сушіння насіння ріпаку у сушарці. Сушильна камера мала прямокутну форму з похилим днищем, виконаним з сталевих перфорованих листів.

Висота насипу насіння при повному завантаженні сушарки (20-25 т) була в межах 45-50 см. Як джерело сушильного агенту в сушарці застосовувалися теплогенератори ТАУ 1,5. Температура агенту сушіння в процесі роботи була в межах від 70 до 85 °С. Дослідження проводились на озимому ріпаку, сорт «Сіверянин», з початкової вологістю насіння в межах 23-27%. Завданням дослідження було простежити, як відбувається нагрів і розподіл температури та вологості насіння по всьому обсягу камери в залежності від часу.

Характер перебігу процесу сушіння насіння ріпаку наочно можна подати у вигляді графіків, зображених на рис. 4.1 та рис. 4.2.

Проведені дослідження для процесу сушіння насіння ріпаку показали не однорідність температурного поля насіння, що знаходяться в сушильній принаймні на різній глибині. При цьому нижні шари насіння піддавалися перегріву та зниженню вологості аж до 4-5%, у той час як верхні шари

залишалися не висушеними і мали вологість на рівні 16-20%, що надалі може призвести до їх псування та втрати товарних якостей.

Для зменшення нерівномірності вологості насіння застосовувалося зворушення шару з величезними витратами ручної праці. Температура нагрівання насіння склала більше 60 ° С, що не бажано, так як це веде до зниження виходу олії при переробці насіння.

W, %

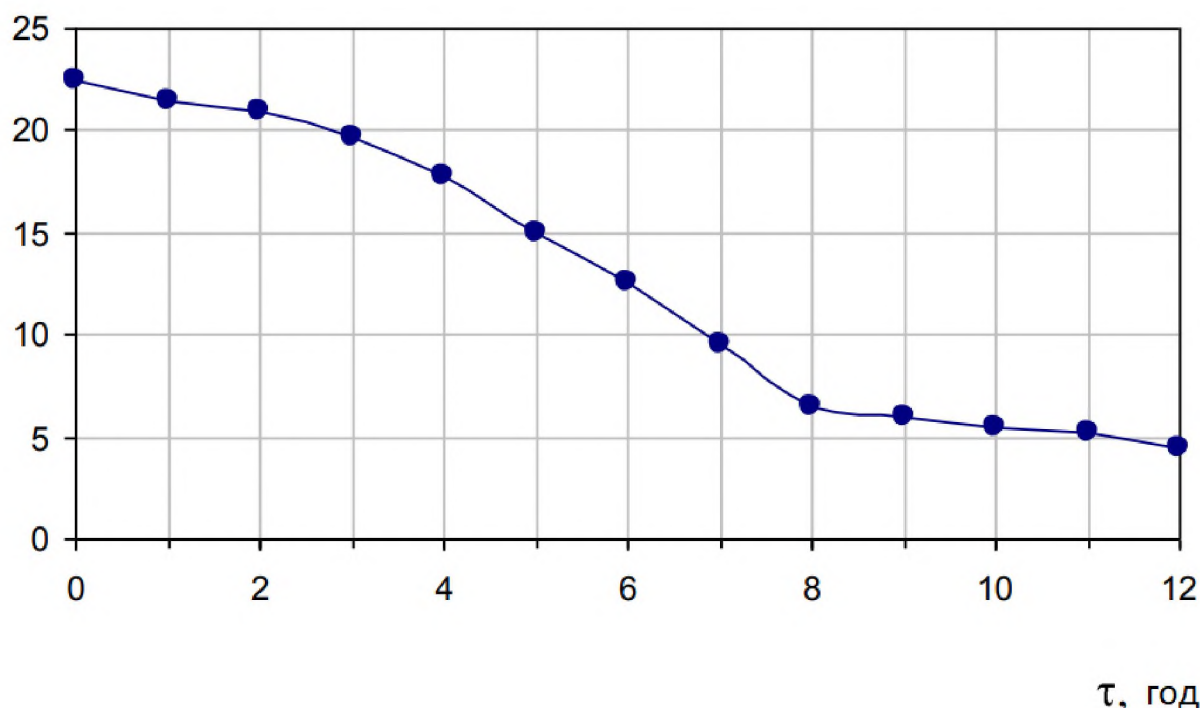


Рисунок 4.1 – Залежність вологості насіння від часу сушіння

Виходячи з отриманих результатів, можна зробити висновок, що, для того, щоб зберегти якість насіння, слід правильно завантажувати сушильну камеру, домагаючись рівномірного шару, задавати правильний температурний режим сушіння, а також забезпечити періодичне зворушення шару. Зазначені режими сушіння підійдуть лише для отримання продовольчого ріпаку, чим і займається господарство.

t, °C

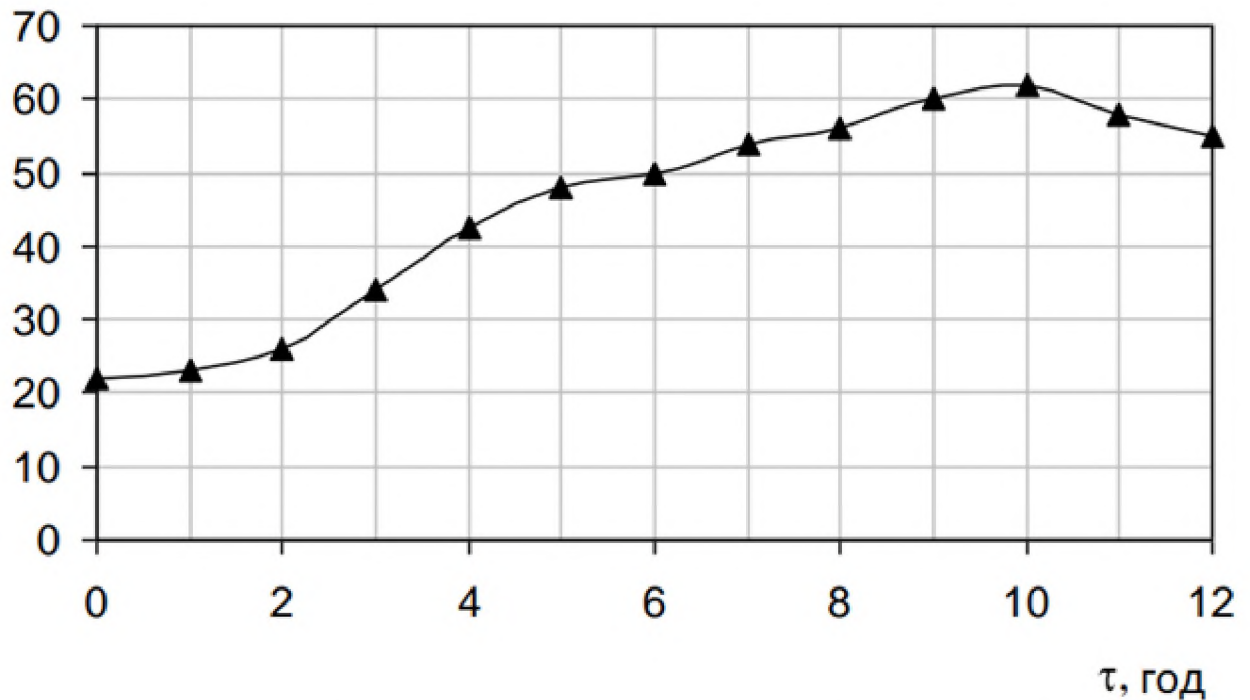


Рисунок 4.2 – Залежність температури нагріву насіння від часу сушіння

Для покращення роботи сушарок пропонується провести такі заходи, які дозволять значно підвищити продуктивність процесу сушіння і якість одержуваного насіння:

- механізувати зворушення та переміщення вороху в сушильній принаймні;
- використовувати чергуються (осцилюючі) режими сушіння;
- оснастити сушильні камери датчиками контролю температури насіння;
- вести попередній підігрів насіння ріпаку в активних бункерах вентилявання перед основною операцією сушіння.

4.2. Дослідження кінетики сушіння насінного ріпаку у товстому шарі

Представлені результати експериментальних досліджень сушіння ріпаку в нерухомому шарі товщиною 20, 30, 40 мм на лабораторній сушильній установці.

З метою покращення точності та полегшення обробки отриманої інформації під час проведення досліджень експериментальний стенд доукомплектований допоміжним обладнанням та персональним комп'ютером.

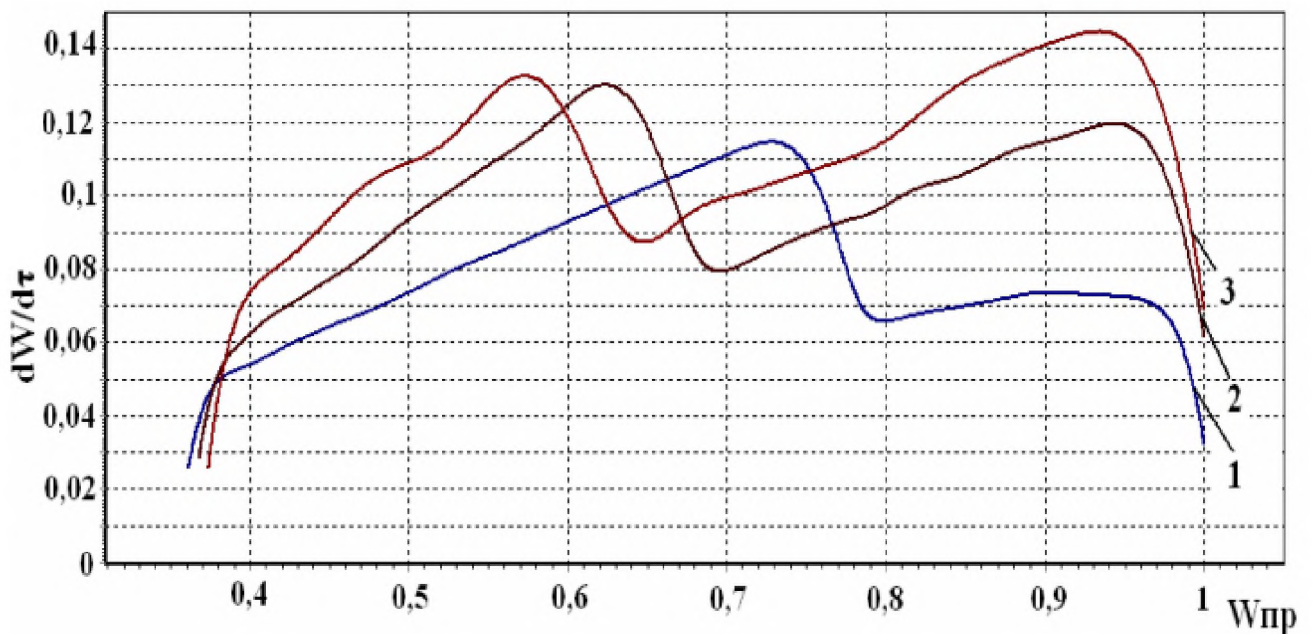
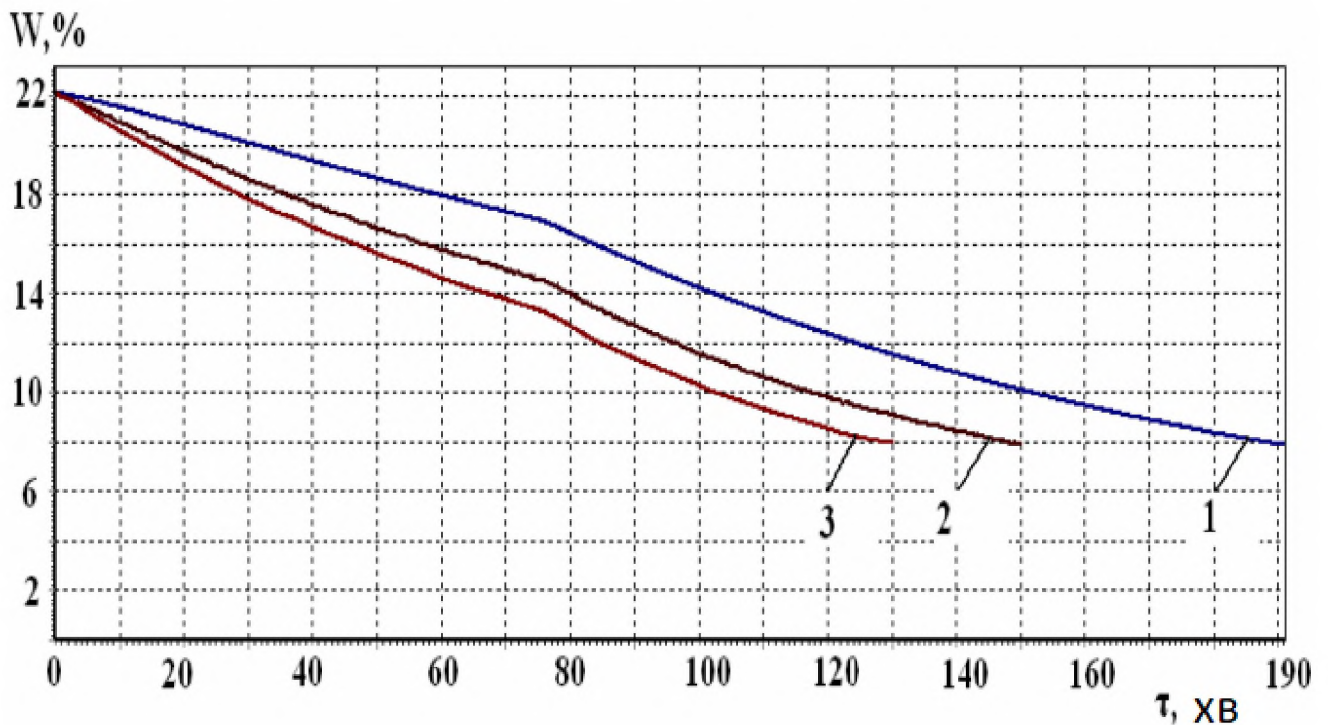


Рисунок 4.3 - Вплив швидкості сушильного агенту на кінетику та швидкість сушіння ріпаку при: $T = 50^{\circ}\text{C}$, $S = 10$ мм, швидкість повітря: 1 – 0,6 м/с; 2 – 1,5 м/с; 3 – 2,5 м/с.

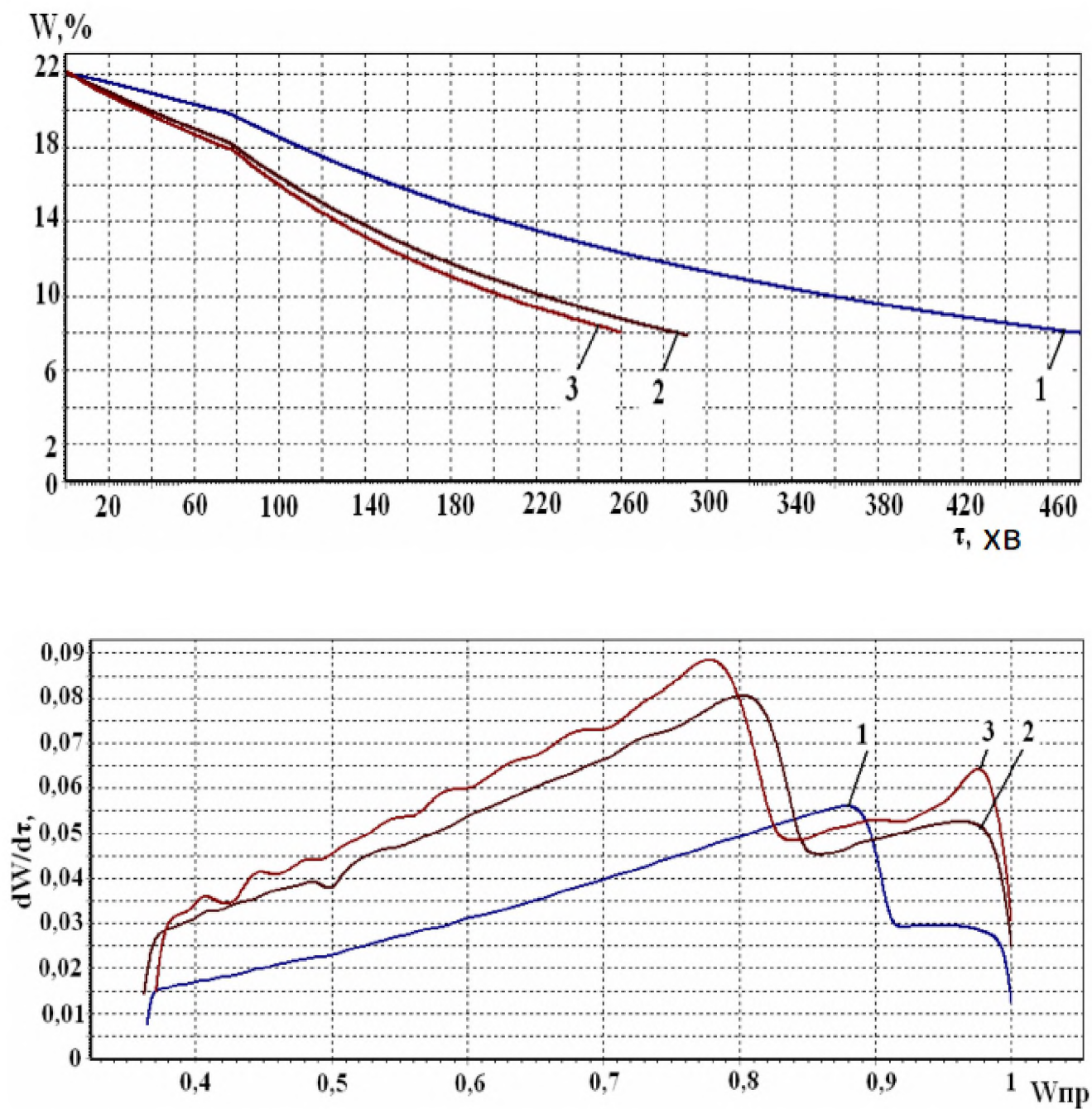


Рисунок 4.4 - Вплив швидкості сушильного агенту на кінетику та швидкість сушіння ріпаку при: $T = 50^{\circ}\text{C}$, $S = 40 \text{ мм}$, швидкість повітря: 1 – 0,6 м/с; 2 – 1,5 м/с; 3 – 2,5 м/с.

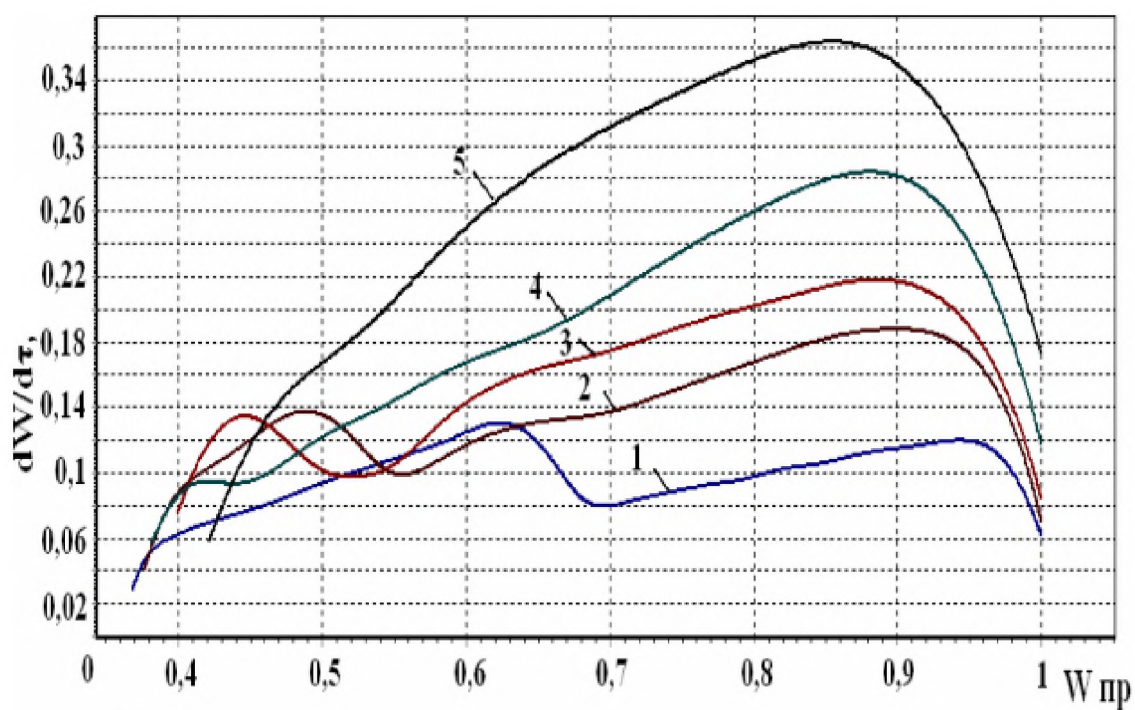
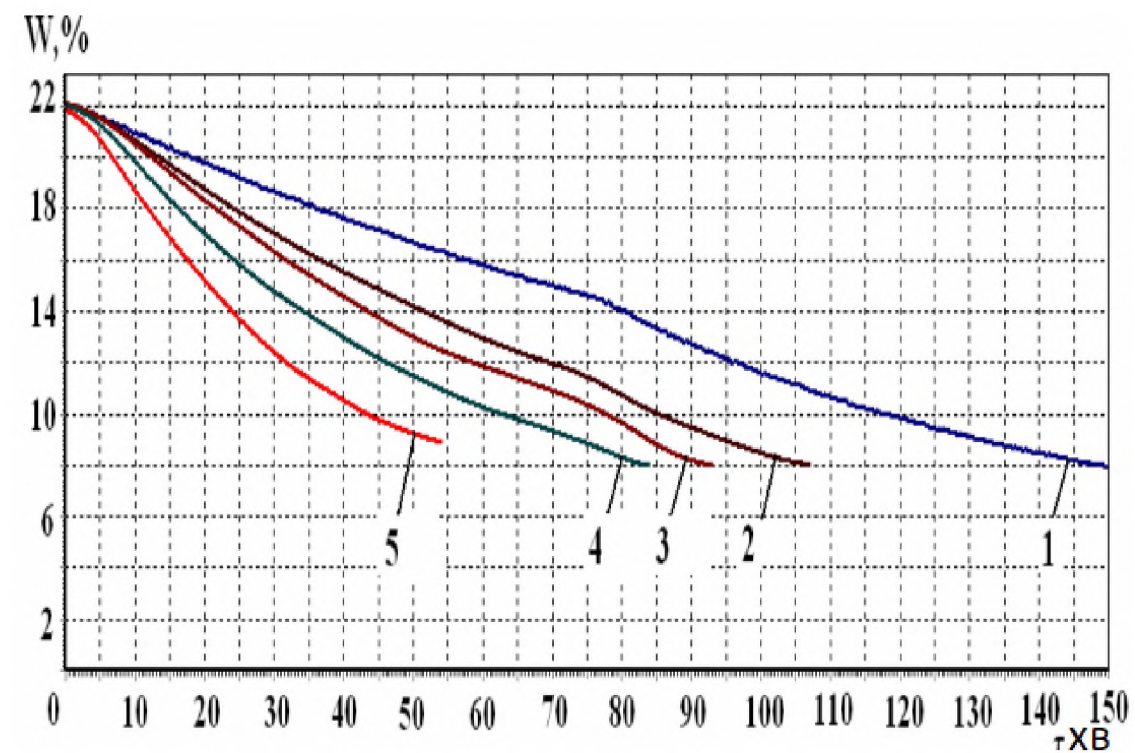


Рисунок 4.5- Вплив температури на кінетику та швидкість сушіння ріпаку у шарі $S = 10 \text{ мм}$, $V = 1,5 \text{ м/с}$ та температури сушильного агента: 1 - 50 °C; 2 - 60 °C; 3 - 70 °C; 4 - 80 °C; 5 - 100 °C

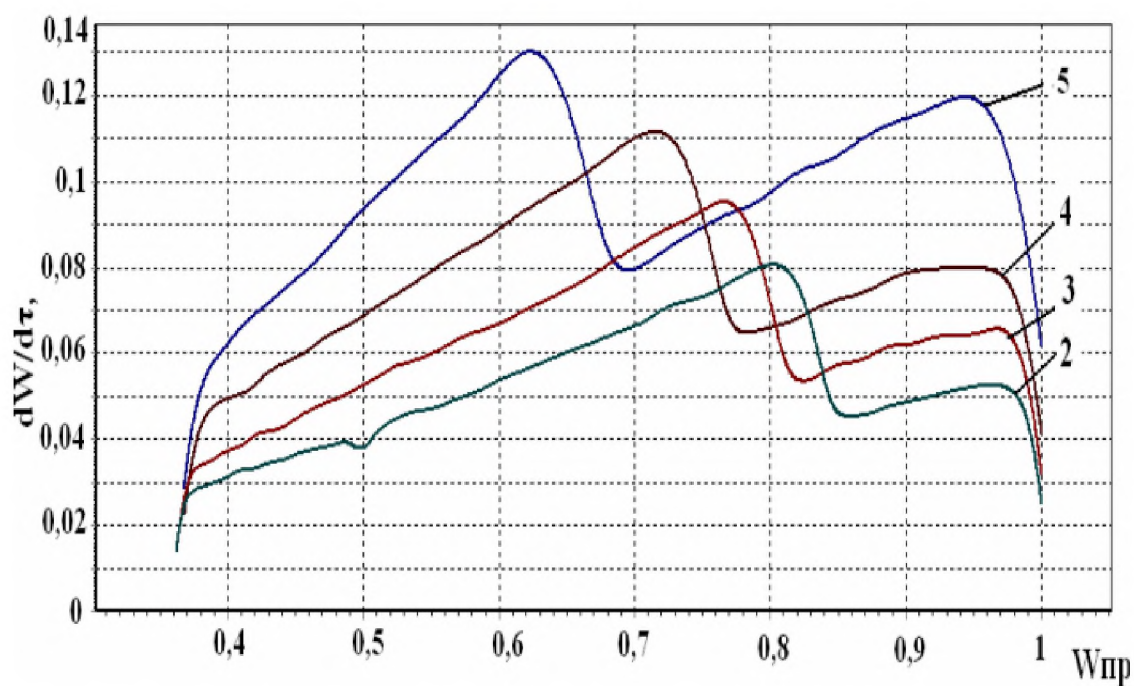
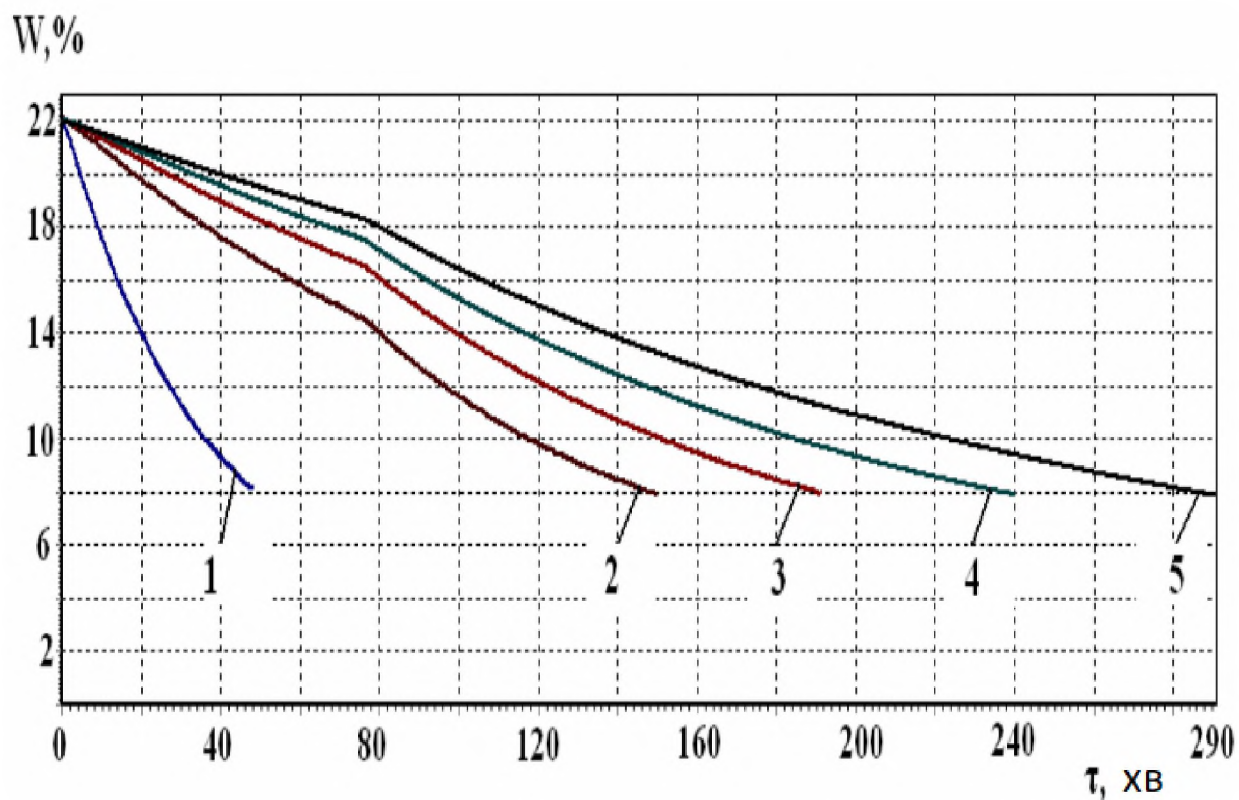


Рисунок 4.6 - Вплив шару ріпаку на кінетику та швидкість сушіння за $T = 50^{\circ}\text{C}$, $V = 1,5 \text{ м/с}$: 1 – елементарний шар; 2 – шар 10 мм; 3 – шар 20 мм; 4 – шар 30 мм; 5 – шар 40 мм.

Аналіз отриманих результатів свідчить:

- на кривих кінетики сушіння виразно видно, що незалежно від швидкості повітря (рис.4.4), температури (рис.4.5) та шару (рис.4.6) критична точка незмінно перебуває у точці 75 хв. Інтенсифікуючи процес різними параметрами, ми лише збільшуємо тривалість 1 етапу швидкості сушіння та зменшуємо 2 етап;
- при зміні швидкості подачі повітря спостерігається збільшення максимуму швидкості сушіння в 1 та 2 етапі та значне збільшення максимуму на 1 етапі у шарі 10 мм. Швидкість сушильного агента значно впливає на тривалість процесу сушіння ріпаку, причому час сушіння зменшується за зміни швидкості: від 0,6 – 1,5 м/с – 40 хв (шар 10 мм) та 170 хв (шар 40 мм); від 1,5 – 2,5 м/с – 20 хв (шар 10 мм) та 30 хв (шар 40мм) (рис.4.4);
- при збільшенні температури у шарі 10 мм відбувається значне збільшення етапу швидкості сушіння та різний характер зміни у 2 етапі: збільшується в інтервалі температур 50 - 60 ° С, зменшується при 60-80°C і зникає при 100°C;
- сушіння в шарі показала відмінність кривої кінетики сушіння від елементарного шару у шарі 20, 30, 40 мм характер кривих швидкості сушіння постійний - максимум 1 етапу істотно нижче за 2 і збільшення шару лише переносить критичну точку від початкової вологості ріпаку 18% (шар 20 мм) до початкової вологості 14% (шар 40 мм).

4.3. Вплив температури та початкової вологості на схожість ріпаку

В процесі проведення досліджень встановлювали також вплив температури та початкової вологості на схожість ріпаку. При аналізі отриманих даних можна навести такі рекомендації при сушіння ріпаку в елементарному шарі:

- найбільш сприятливий режим сушіння насінневого зерна наближений до вихідного схожості ріпаку (94%) – температура 50°C, швидкість сушіння 1,5м/с, початкова вологість ріпаку при цьому режимі не впливає на процес сушіння (рис.4.7);

- найбільш несприятливий режим сушіння насінневого ріпаку – температура 80°C та більше при швидкості сушильного агента 1,5 м/с. Початкова вологість ріпаку при заданому режим істотно впливає на схожість ріпаку. При початковій вологості ріпаку 12,0% - 67% схожості; при 17,0% -33% та при 24,5% - 0% (рис.4.7).

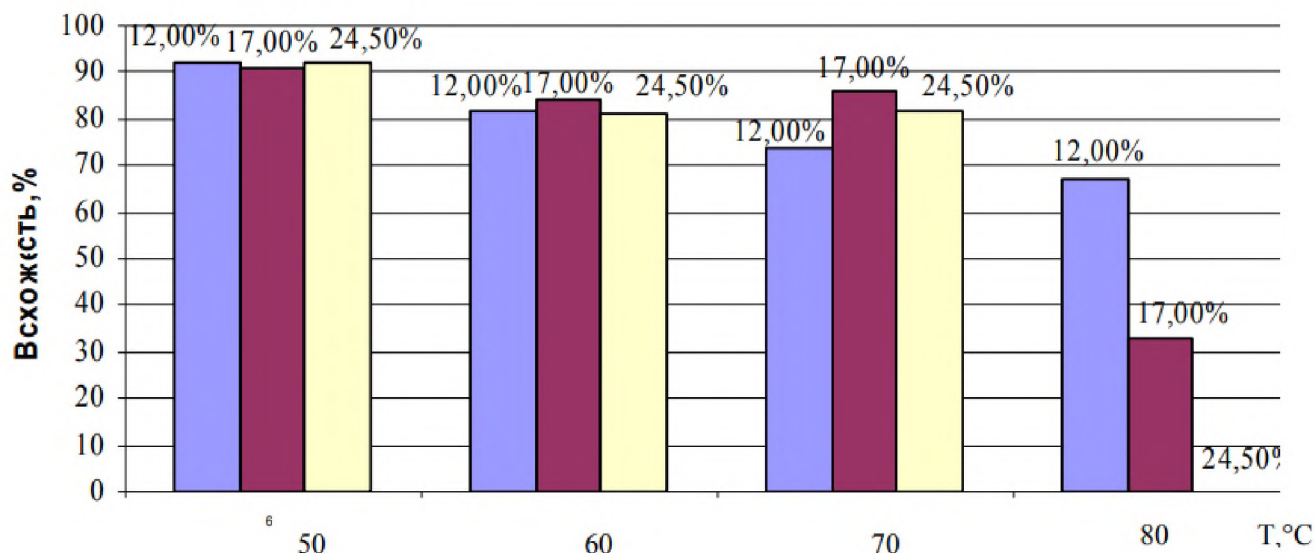


Рисунок 4.7 - Вплив температури та початкової вологості на схожість ріпаку за швидкості сушильного агента 1,5 м/с.

4.4. Висновки до розділу 4

1. Отримано графічні залежності зміни вологості насіння ріпаку з часом та зміни температури насіння при його сушінні, на основі чого сформовано рекомендації для інтенсифікації процесу сушіння.
2. Досліджено та побудовано графіки кінетики сушіння насінного ріпаку у товстому шарі.
3. Експериментально виявлено вплив температури та початкової вологості на схожість насіння ріпаку.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

На основі проведеного аналізу можна зробити висновок, що великі енерговитрати процесу сушіння виникають внаслідок неповного використання потенціалу сушильного агента. Це, фактично, стосується усіх типів існуючих сушарок. Недосконала робота відомих конвективних протитечійних зерносушарок барабанного і бункерного типу зумовлена втратою напору сушильного агента за висотою камери сушіння. Шар зерна створює аеродинамічний опір для руху сушильного агента. Дослідженню цього явища присвячено достатньо багато робіт, однак чіткого вирішення немає. У цих роботах, для вирішення проблеми нерівномірного проходження сушильного агента крізь шар зерна, пропонується використовувати механічні системи активізації процесу сушіння за рахунок розпушування і перемішування матеріалу в сушарці. Однак такий підхід потребує додаткових енерговитрат на приводи механізмів активізації процесу.

1. Проведено огляд відомої теорії сушіння зернових матеріалів, що може бути використано для аналізу процесу сушіння ріпаку;
2. Проведено теоретичний аналіз графічних залежностей конвективного сушіння зернових насінневих матеріалів. Запропоновано ряд рекомендацій для інтенсифікації процесу сушіння загалом;
3. Запропоновано конструкцію конусоподібної сушильної камери сушарки ріпаку, що дозволяє вирівняти витрату сушильного агента за висотою шару матеріалу і інтенсифікувати процес сушіння;
4. Для проведення експериментальних досліджень було використано загальновідоме та розроблене лабораторне обладнання;
5. Встановлено методику визначення параметрів сушіння насіння ріпаку в товстому шарі;
6. Використано відому методику визначення енергії проростання та схожості для насіння ріпаку, що піддавалось дії різних температур в процесі сушіння;

7. Отримано графічні залежності зміни вологості насіння ріпаку з часом та зміни температури насіння при його сушінні, на основі чого сформовано рекомендації для інтенсифікації процесу сушіння;
8. Досліджено та побудовано графіки кінетики сушіння насінного ріпаку у товстому шарі;
9. Експериментально виявлено вплив температури та початкової вологості на схожість насіння ріпаку.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Naumann Barbara Fitch. Bioengineered oilseed acreage escalating. INFORM: Int. News Fats, Oils and Relat. Mater. 1999. Vol. 8, № 8. P. 804–806, 808–811.
2. Щербаков В. Я., Фесенко І. В., Неруцький С. Т. Ріпак на півдні України: проблеми та перспективи вирощування. Аграрний вісник Причорномор'я: Зб. наук. праць. 1999. Вип. 3 (6). С. 334–339.
3. Черешинська Н. Ми повинні навчити селян заробляти гроші. Пропозиція. 2000. № 6. С. 22–23.
4. Офіційний сайт Міністерства аграрної політики України. URL: <http://www.minagro.kiev.ua>.
5. Гауе О., Шіхерт А. Вирощування озимого ріпаку – економічні результати справді переконливі. Пропозиція. 2005. № 6. С. 36–37.
6. Перцев М. І., Дмитрієвський Д. І., Рибачук В. Д. та ін. Допоміжні речовини в технології ліків: вплив на технологічні, споживчі, економічні характеристики і терапевтичну ефективність: навч. посіб. для студ. вищ. фармац. навч. закл. Харків: Золоті сторінки, 2010. 600 с.
7. Андрощук С. Т., Мостіпан Т. В., Дзюба Л. П. Все про ріпак. Методичні вказівки. Кіровоград: КІАПВ УААН, 2006. 27 с.
8. Конеченков А. Біопаливо для України. Зелена енергетика. 2007. № 1. С. 10–11.
9. Марченко В., Сінько В. Ефективність та доцільність використання біодизельного палива в Україні. Пропозиція. 2005. № 10. С. 36–39.
10. Редзюк А., Рубцов В., Гутаревич Ю. Чи є перспектива у використанні ріпакової олії як моторного пального в Україні?. Пропозиція. 1999. № 5. С. 55–56.
11. Овсянникова Л., Орлова С., Гончарук Г. Для ефективного очищення насіння ріпаку й гірчиці від важковідокремлюваних домішок. Зерно і хліб. 2007. № 2. С. 24–25.
12. Берегова О. М., Станкевич Г. М. Дослідження процесу сушіння насіння ріпаку. Вісник харківського державного університету сільського господарства. 2001. Вип. 5. С. 282–287.
13. Подпрятів Г. І., Скалецька Л. Ф., Сеньков А. М., Хилевич В. С. Зберігання і переробка продукції рослинництва : Навч. посібник. К.: Мета, 2002. 495 с.
14. Снежкін Ю. Ф., Пазюк В. М., Петрова Ж. О., Чалаєв Д. М. Теплонасосна зерносушарка для насінневого зерна : монографія. Київ: видавництво ТОВ «Поліграф-Сервіс», 2012. 154 с.
15. Берегова О. М. Вплив вологості і температури на теплофізичні характеристики насіння ріпаку. Холодильна техніка і технологія. 2001. № 2 (71). С. 49–51.
16. ДСТУ 4966:2008. Насіння ріпаку для промислового перероблення. Технічні умови. К.: Держспоживстандарт України, 2010. 12 с.

17. Берегова О. М. Вплив вологості і температури на теплофізичні характеристики насіння ріпаку. Холодильна техніка і технологія. 2001. № 2 (71). С. 49–51.
18. ДСТУ 4138 – 2002 . Насіння сільськогосподарських культур. Методи аналізування схожості насіння. К.: Держспоживстандарт. 2003. С. 10–14.
19. Б. Приступа. Сушіння ріпаку з використанням конусоподібної камери сушіння //Тези ІV студентської науково-технічної конференції «Сучасні технології у агровиробництві та природокористуванні». Луцьк: Факультет аграрних технологій та екології, Луцький НТУ. – 2024. –с.

ДОДАТКИ

Формат	Зона	Позиція	Позначення	Назва	К-ть	Примітка
				<u>Документація</u>		
A1			AI.CKP.02.00.0000.SK	Складальне креслення		
				<u>Деталі</u>		
		1	AI.CKP.02.00.0001	Кронштейн	2	
		2	AI.CKP.02.00.0002	Цапфа	2	
		3	AI.CKP.02.00.0003	Боковина конусна	2	
		4	AI.CKP.02.00.0004	Каркас боковини	2	
		5	AI.CKP.02.00.0005	Кільце	2	
		6	AI.CKP.02.00.0006	Кришка	2	
		7	AI.CKP.02.00.0007	Кришка	2	
		8	AI.CKP.02.00.0008	Втулка	2	
		9	AI.CKP.02.00.0009	Рама	1	
		10	AI.CKP.02.00.0010	Кожух	1	
		11	AI.CKP.02.00.0011	Ручка	1	
		12	AI.CKP.02.00.0012	Шпінт	2	
		13	AI.CKP.02.00.0013	Завіс верхній	2	
		14	AI.CKP.02.00.0014	Завіс нижній	2	
		15	AI.CKP.02.00.0015	Кріплення	2	
		16	AI.CKP.02.00.0016	Гак	1	
		17	AI.CKP.02.00.0017	Стопор	2	
		18	AI.CKP.02.00.0018	Фіксатор	2	

					<i>AI.CKP.02.00.0000.SK</i>			
Зм	Арк.	№ докум	Підпис	Дата				
Розробив	Приступа				<i>Камера сушильна</i>	Літера	Аркуш	Аркушів
Перевірив/П	Кірчук					М	1	2
Н. контр.	Юхимчук				ЛНТУ Каф. AI ст.гр. AIм-21			
Затверд.	Хомич							

