

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра харчових технологій

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

до дипломної роботи  
освітнього ступеня «Магістр»  
на тему:

**Вплив гідротермічної обробки на зерно пшениці  
з низькими показниками якості**

**Виконала:** здобувачка вищої освіти 2 курсу,  
групи МГХТ-1-23  
освітньо-професійної програми «Харчові технології»  
зі спеціальності 181 «Харчові технології»

\_\_\_\_\_ Олександра ДЖУР

**Керівник:** \_\_\_\_\_ Віталій КОШУЛЬКО

**Рецензент:** \_\_\_\_\_

Дніпро 2024

**ДНПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра харчових технологій  
Ступінь вищої освіти: «Магістр»  
Освітньо-професійна програма: «Харчові технології»  
Спеціальність: 181 «Харчові технології»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри  
харчових технологій,  
кандидат технічних наук, доцент  
Віталій КОШУЛЬКО

(підпис)

«12» листопада 2024 р.

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧЦІ ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Джур Олександрі Миколаївні

1. Тема роботи: «Вплив гідротермічної обробки на зерно пшениці з низькими показниками якості».  
Керівник роботи: Кошулько Віталій Сергійович, кандидат технічних наук, доцент, затверджені наказом закладу вищої освіти від «12» листопада 2024 року № 3785.
2. Строк подання здобувачем вищої освіти роботи 13 грудня 2024 року
3. Вихідні дані до роботи 1 Літературні джерела та періодичні видання. 2 Наукова та науково-технічна документація, що стосується питань виробництва технології переробки зерна. 3 Нормативно-технологічна документація. 4 Патенти та авторські свідоцтва.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити). Вступ. 1 Аналітичний огляд. 2 Методична частина. 3 Експериментальна частина. 4 Розробка технології підготовки зерна пшениці зі слабкою клейковиною до помелу. 5 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. 6 Організаційно-економічна частина. Загальні висновки. Бібліографія.

5. Перелік демонстраційного матеріалу

1 Аналіз стану питання. 2 Мета та задачі досліджень. 3 Результати досліджень та їх аналіз. 4 підготовки зерна пшениці зі слабкою клейковиною до помелу. 5 Кошторис витрат на проведення досліджень. 6 Загальні висновки.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Посада, прізвище та ім'я консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1 – 4	доцент Віталій КОШУЛЬКО	12.11.2024	13.12.2024
5	доцент Віталій КОШУЛЬКО	12.11.2024	13.12.2024
6	доцент Віталій КОШУЛЬКО	12.11.2024	13.12.2024

7. Дата видачі завдання 12 листопада 2024 року.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	12.11-13.11.24	виконано
2	Аналітичний огляд	14.11-18.11.24	виконано
3	Методична частина	19.11-20.11.24	виконано
4	Експериментальна частина	20.11-29.11.24	виконано
5	Розробка технології підготовки зерна пшениці зі слабкою клейковиною до помелу	02.12-03.12.24	виконано
6	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	04.12-05.12.24	виконано
7	Організаційно-економічна частина	06.12-09.12.24	виконано
8	Загальні висновки та список джерел посилання	10.12-11.12.24	виконано
9	Розробка та підготовка демонстраційного матеріалу	12.12.2024	виконано

**Здобувачка вищої освіти**

\_\_\_\_\_ Олександра ДЖУР  
( підпис )

**Керівник роботи**

\_\_\_\_\_ Віталій КОШУЛЬКО  
( підпис )

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка магістерської роботи містить: 83 сторінку друкованого тексту, 18 рисунків та ілюстрацій, 10 таблиць та використано 58 літературних джерела.

Метою дослідження є аналіз впливу гідротермічної обробки зерна пшениці з низькими якісними показниками під час підготовки до помелу, а також оцінка впливу техногенних факторів на санітарно-гігієнічні властивості зерна та їх зміни в процесі роботи борошномельного підприємства.

Об'єктом дослідження є процес водно-теплової обробки зерна пшениці з низьким вмістом клейковини, його зв'язок із технологічними параметрами зерна та характеристиками обробки.

Предмет дослідження – закономірності, взаємозв'язки та вплив водно-теплової обробки зерна пшениці на ефективність технологічного процесу.

Якість клейковини є ключовим показником, який визначає хлібопекарські властивості зерна. Борошно з пшениці зі слабкою клейковиною погіршує хлібопекарські показники, а хліб із такого борошна має низький об'ємний вихід, незадовільний вигляд і структуру м'якушки. Покращити ці властивості можна на етапі підготовки зерна до помелу за допомогою гідротермічної обробки, зокрема, використовуючи сучасні методи, такі як гаряча або швидкісна обробка.

Це дослідження спрямоване на вирішення актуальних питань у сучасних технологіях виробництва борошна, зокрема щодо покращення якості зерна зі слабкою клейковиною за допомогою гідротермічної обробки та розробки методу для прямої оцінки її ефективності.

*Ключові слова:* ПШЕНИЦЯ, КЛЕЙКОВИНА, ГІДРОТЕРМІЧНА, ОБРОБКА, БОРОШНО, РОБОТА, ХЛІБОПЕЧІННЯ, ТЕХНОЛОГІЇ, ЕФЕКТИВНІСТЬ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ЕКСПЕРИМЕНТ, ВИПРОБУВАННЯ.

## ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД	11
1.1 Зерно – як об’єкт переробки	11
1.2 Технологічна оцінка зерна пшениці	12
1.3 Біохімічний склад і властивості клейковини	15
1.4 Гідротермічної обробки як спосіб оптимізації властивостей зерна пшениці	17
1.4.1 Традиційні способи гідротермічної обробки зерна	17
1.4.2 Вплив гідротермічної обробки на властивості зерна	21
1.4.3 Спеціальні методи поліпшення якості слабкої клейковини в зерні і борошні	27
Висновки за розділом	30
2 МЕТОДИЧНА ЧАСТИНА	31
2.1 Об’єкти досліджень	31
2.2 Методика лабораторних досліджень	31
2.2.1 Визначення якісних характеристик зерна пшениці	31
2.2.2 Оцінка вологопоглинаючої здатності зерна пшениці	31
2.2.3 Методика пропарювання і термостатування	32
2.2.4 Методи гідротермічної обробки, використовувані в роботі	35
2.2.5 Метод оцінки ефективності гідротермічної обробки зерна	36
Висновки за розділом	39
3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА	40
3.1 Якість досліджуваних товарних партій і сортового зерна пшениці	40
3.2 Вплив різних методів водно-теплової обробки на якість клейковини зерна пшениці	41
3.2.1 Дослідження вологопоглинальної здатності зерна пшениці	41
3.2.2 Вплив способів водно-теплової обробки на зміну якості клейковини	43

3.2.3 Час зберігання як фактор зміни якості клейковини зерна, що пройшло водно-теплову обробку за розробленим методом	52
3.3. Вплив ступеня зволоження і відволоження на якісний склад проміжних продуктів сортового помелу	54
3.4 Розробка способу оцінки ефективності гідротермічної обробки зерна	61
Висновки за розділом	62
4 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ПІДГОТОВКИ ЗЕРНА ПШЕНИЦІ ЗІ СЛАБКОЮ КЛЕЙКОВИНОЮ ДО ПОМЕЛУ	64
Висновки за розділом	65
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	66
5.1 Розробка карти безпеки праці	66
5.2 Шляхи утилізації відходів на борошномельних підприємствах	67
Висновки за розділом	69
6 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	70
6.1 Організація проведення дослідження	70
6.2 Витрати, пов'язані з проведенням дослідження	71
6.3 Розрахунок вартості дослідження	74
Висновки за розділом	74
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	75
БІБЛІОГРАФІЯ	77

## ВСТУП

Стан навколишнього середовища та особливості агротехніки істотно впливають на якість товарного зерна, як сировини борошномельних заводів. При цьому найбільш важливими факторами впливу є температурний і вологісний режим в період вегетації, кількість і якість добрив, а також рівень агротехніки. Крім того, товарне зерно може бути піддано різним хворобам, забруднено продуктами промислової діяльності людини, що може зробити небезпечним споживання продуктів харчування з зерна пшениці. При цьому, харчування є одним з найважливіших чинників зв'язку людини з зовнішнім середовищем.

Підсумки взаємодії людини з навколишнім середовищем можуть мати як позитивні, так і негативні наслідки для екосистеми. Одним з основних негативних наслідків діяльності людини є утворення шкідливих і отруйних речовин, які потрапивши в екосистему, як правило, не зникають безслідно. Небезпечні навіть низькі їх концентрації, які, діючи тривалий час, можуть зробити шкідливий вплив на людину, тварин і рослини.

Очевидно, зерно, як жива біологічна система, також легко піддається впливу різних чинників, що може привести до погіршення його і технологічних, і споживчих переваг, а в деяких випадках робить його повністю непридатним для використання в харчових цілях.

Забруднення зерна і пошкодження спостерігається в основному в полі при стоянні на корені і при збиранні врожаю, а також при несприятливих умовах зберігання, що і призводить до появи дефектного зерна. До нього відносять зерно проросле, морозобійне, суховійними, пошкоджене польовими шкідниками, хворобами, засмічене насінням і частинами отруйних рослин, механічно пошкоджене, а також в тому, що саме зігрілося, зіпсоване сушінням і шкідниками хлібних запасів, пошкоджене мікроорганізмами. В результаті в більшості випадків дефектний зерно

має слабку клейковину, що є одним з основних чинників знижують його хлібопекарські достоїнства. Відомо, що якість клейковини один з основних критеріїв, що визначають хлібопекарські властивості зерна пшениці. Борошно з зерна зі слабкою клейковиною погіршує можливості хлібопечення, а одержуваний хліб володіє низьким об'ємним виходом і має незадовільний зовнішній вигляд та стан м'якушки. У практиці хлібопечення борошно з такого зерна може використовуватися тільки в суміші з борошном із зерна з нормальною і сильною клейковиною. Поліпшення хлібопекарських властивостей зерна зі слабкою клейковиною можливо на стадії підготовки до помелу. Для цього використовують гідротермічної обробки при підвищених температурах процесу. У сучасній технології - це гарячий або швидкісний способи. Однак, практичне їх застосування зустрічає ряд складнощів. В першу чергу, це методи не досить ефективні, а по-друге, сучасні мірошницькі підприємства практично всі використовують холодні способи гідротермічної обробки. Таким чином, при несприятливих умовах, коли значна частка врожаю пшениці може бути зерном зі слабкою клейковиною, відчувається гостра нестача зерна – покращувача з нормальною або сильною клейковиною. Така проблема періодично виникає в галузі хлібопродуктів.

Відомо, що технологічний процес на борошномельних заводах являє собою складну багатофакторну систему. Несправність в будь-якому з ланок процесу, як правило, призводить до зниження технологічної та економічної ефективності роботи підприємства. Виділяють кілька основних факторів, які найбільш сильно впливають на ефективність ведення процесу в технології борошна, тобто на вихід і якість продукції, а також на експлуатаційні витрати. В тому числі:

- ✓ якість зерна;
- ✓ особливості побудови, організації і ведення технологічного процесу;
- ✓ якість і надійність технологічного обладнання;
- ✓ майстерність технолога.

Безсумнівно, що в цьому переліку пріоритет необхідно віддати якості зерна.



Управління технологічним процесом в оптимальному режимі завжди спирається на використання критеріїв, які б однозначно оцінювали технологічну операцію. У разі гідротермічної обробки, на жаль, таких критеріїв немає. Основні оціночні показники процесу повністю збігаються з оцінкою процесу отримання борошна в цілому - це вихід і якість готової продукції при певних експлуатаційних витратах. Але на ці показники впливають величезна кількість факторів таких, як якість зерна, і режим подрібнення, і розгалуженість технологічного процесу та інше, які діють одночасно. Тому застосування цих критеріїв для оцінки конкретно процесу гідротермічної обробки утруднене. Розробка критерію однозначно оцінює ведення процесу гідротермічної обробки, безсумнівно,

Помольні партії зерна на великих підприємствах формуються, як правило, з зерна різних районів зростання, в тому числі з екологічно неблагополучних. Тому при створенні запасу товарного зерна безсумнівно необхідно достовірна інформація про ступінь забрудненості зерна різних районів. При цьому велике значення має інформація про забруднення окремих анатомічних частин зерна, так як технологія борошна здійснюється на поділ периферійних частин і ендосперму зерна. Це стає особливо актуальним, коли побічні продукти технології, такі як висівки і зародок використовуються як продукти харчування.

Таким чином, робота присвячена вирішенню актуальних питань сучасної технології борошна, таких як гідротермічна обробка зерна зі слабкою клейковиною, розробка методу прямої оцінки ефективності гідротермічної обробки зерна, впливу техногенної інтоксикації на якість товарного зерна, розподілу забруднювачів зерна по анатомічним частинам зерна і впливу технологічного процесу на екологічну чистоту основних і побічних продуктів технології.

Метою дослідження є аналіз впливу гідротермічної обробки зерна пшениці з низькими якісними показниками під час підготовки до помелу, а також оцінка впливу техногенних факторів на санітарно-гігієнічні властивості зерна та їх зміни в процесі роботи борошномельного підприємства.

Відповідно до поставленої мети вирішувались наступні завдання:

- ✓ оцінити якість товарних партій зерна пшениці, вирощених в різних районах Дніпропетровської області за технологічними та екологічними параметрами;
- ✓ дослідити ступінь впливу різних методів водно-теплової обробки на якість клейковини зерна;
- ✓ розробити ефективний метод гідротермічної обробки зерна пшениці з ослабленою клейковиною;
- ✓ визначити якість зерна пшениці і продуктів його переробки за технологічними параметрами після проведення ГТО;
- ✓ виконати техніко-економічні розрахунки витрат на проведення досліджень.

Об'єктом дослідження є процес водно-теплової обробки зерна пшениці з низьким вмістом клейковини, його зв'язок із технологічними параметрами зерна та характеристиками обробки.

Предмет дослідження – закономірності, взаємозв'язки та вплив водно-теплової обробки зерна пшениці на ефективність технологічного процесу.

# 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

## 1.1 Зерно – як об'єкт переробки

Виробництво зерна і його переробка з найдавніших часів займали важливе місце в житті людей. Зерно є природним джерелом крохмалю, білка, вітамінів та інших біологічно цінних речовин, які відіграють незамінну роль у харчуванні людини і тварин.

Зерно служить сировиною для багатьох галузей народного господарства, а для борошномельної, круп'яної і комбікормової промисловості є основним об'єктом переробки. Подрібнене зерно, побічні продукти борошномельного і круп'яного виробництва, зернові відходи є основними компонентами комбікормів. Виробництво борошна і крупи засноване на переробці пшениці, жита та інших зернових культур. Таким чином, зерно є основною сировиною для виробництва багатьох важливих продуктів харчування [1,19].

При оцінці зерна як сировини для переробки в борошно необхідно враховувати наступні фундаментальні положення:

- ✓ зерно являє собою складене тіло внаслідок органічної сполуки в єдине ціле різко різнорідних за структурою та властивостями анатомічних частин – ендосперму, зародка і оболонки;
- ✓ зерно є анізотропним тілом, тому що навіть в межах кожної анатомічної частини помітно різняться структура, хімічний склад і властивості;
- ✓ зерно являє собою полімерне тіло, тканини якого побудовані з біополімерів (білків, вуглеводів та ін.);
- ✓ зерно – живий організм, тому всі процеси, що в ньому протікають незалежно від їх природи управляються особливою біологічною системою.

Так як зерно є живим організмом у відповідних умовах при достатній наявності вологи і тепла воно проростає, розвивається в нову рослину. Всі процеси, що відбуваються в живих організмах, притаманні і нормальному зерну: дихання, обмін масою і енергією з навколишнім середовищем, розпад одних і

синтез інших речовин. Ці процеси регулюються ферментною системою, і їх інтенсивність залежить від вологості і температури зерна.

Для живих організмів характерна залежність їх стану від великого числа факторів і безлічі внутрішніх взаємозв'язків. Перше обумовлено взаємодією зерна з навколишнім середовищем, друге – регулюючим впливом біологічної системи, що управляє процесами на всіх стадіях існування зерна.

Сухе зерно знаходиться в стані спокою (анабіозу). Але при підвищенні вологості і температури активність ферментів зростає, в зерні починаються процеси, що ведуть до розвитку зародка в нову рослину. Максимум активності ферментів визначається їх природою, вмістом щодо вільної (слабо пов'язаної) води в зерні і тривалістю температурного впливу. Тому, регулюючи зовнішні умови, можна здійснити певні біохімічні процеси в зерні, змінити його біохімічні властивості [2, 6].

## 1.2 Технологічна оцінка зерна пшениці

Технологічні властивості зерна формуються під впливом біологічних особливостей (тип, сорт), агрохімічних прийомів, ґрунтово-кліматичних умов в період вегетації рослини в полі, методів і режимів післязбиральної обробки зерна. Значний вплив на властивості зерна надають умови, в яких воно зберігається до використання в якості насінневого матеріалу або ж сировини для виробництва борошна, крупи або ж інших продуктів. Реалізація технологічних властивостей відбувається в процесі його переробки.

Відомо, що ці властивості зерна формуються в основному на трьох етапах: в процесі виробництва зерна, його зберігання та підготовки до переробки. На кожному із зазначених етапів властивості зерна змінюються під впливом багатьох факторів. Така висока чутливість зерна на зміну зовнішніх умов залежить від того, що воно є живим організмом і має в своєму розпорядженні керуючу біологічну систему, що забезпечує складний взаємозв'язок різних його властивостей, як відповідну реакцію зерна на зовнішній вплив [1, 2].

Особливе значення представляють біологічні (генетичні) особливості зерна: тип і сорт. Вони визначають потенційні можливості рослини виробляти зерно з певними показниками якості та хімічним складом. В першу чергу – це вміст і властивості клейковини, білка, твердозерності, скловидність [2, 5].

Технологічні властивості зерна – похідні від групи вихідних властивостей.

Вони визначають можливість отримання з зерна готової продукції стандартної якості при деяких експлуатаційних витратах. Відповідно до цього на борошномельних заводах технологічні властивості зерна оцінюють: по виходу готової продукції (сумарно і по сортам); якості готової продукції; питомою експлуатаційних витрат тобто затратами праці, енергії на виробництво одиниці маси борошна [2, 7, 8].

Методи оцінки технологічних властивостей зерна можна розділити на непрямі і прямі.

Прямі методи передбачають безпосередню переробку зерна та оцінку його якості за кінцевими результатами помелу. Використання непрямих методів дозволяє оцінити технологічні властивості без проведення технологічних операцій. Непрямі методи відрізняються великою різноманітністю в залежності від культури, цільового призначення зерна тощо [ 2, 9, 11].

Достовірність оцінки технологічних властивостей зерна вище при використанні прямих методів. Непряма оцінка більш-менш наближається до прямої і залежить від конкретного оформлення методу [4, 5, 14 ].

Найбільш цінними з непрямих показників слід вважати відносний вміст ендосперму і легкість його виділення в чистому вигляді (без домішки оболонки і зародка) в процесі переробки. Для пшениці розроблено досить надійний і простий метод, заснований на визначенні сумарного вмісту крохмалю і сухої клейковини, присутніх тільки в ендоспермі [2, 16].

Проведені дослідження дозволили виявити, що ознаки технологічних властивостей пшениці корелятивно групуються в факторному просторі. Одну групу складають об'ємний вихід хліба, його формостійкість, загальна скловидність і вміст повністю склоподібних зерен. Друга група включає натуру,

вміст клейковини і білка, показники альвеограми. Третя – вміст зерен, пошкоджених клопом черепашкою, і розрідженням тіста. Зольність займає особливе положення, очевидно, в зв'язку з тим, що вона безпосередньо не впливає ні на хлібопекарські, ні на борошномельні властивості зерна. За висновками авторів найбільш інформативними ознаками є вміст клейковини і скловидність зерен [9, 16].

Традиційно, технологічні властивості зерна оцінюються за сукупністю його борошномельних і хлібопекарських властивостей, від яких залежать кількісно-якісні показники готової продукції – борошна, крупи, макаронних і кондитерських виробів, хліба.

Борошномельні властивості визначаються головним чином фізичними особливостями будови зерна, такими як вміст ендосперму, товщина оболонки, лінійні розміри зерна, крупність, вирівняність, щільність, скловидність [1, 12].

Хлібопекарські властивості зерна в основному залежать від його біохімічного комплексу і визначаються в першу чергу вмістом і якістю білка і клейковини, станом вуглеводно-амілазного комплексу зерна [3, 7, 13].

Методи оцінки технологічних властивостей зерна пшениці можуть бути класифіковані в такий спосіб:

1. Органолептичні, які включають визначення виповненості, вирівняненості, форми, кольору, скловидності зерна.

2. Фізичні, куди входить визначення розмірів, вирівняненості на ситах, площі поперечного перерізу, об'єму і форми зернівки, співвідношення анатомічних частин, глибини і конфігурації петлі боріздки, маси 1000 зерен, натури, щільності, скловидності.

3. Фізико-механічні, куди входить визначення опірності зерна і його анатомічних частин зусиллям стиснення, зсуву, зрізу і розтягування, а також параметрів релаксації напружень та повзучості при деформації стиску і зсуву, в'язкості і мікротвердості зерна; показника твердозерності, а також оцінка якості зерна за результатами лабораторних помелів (виходу і якості крупок, дунстів і муки, питомої витрати електроенергії).

4. Фізико-хімічні, в яких визначають вміст і якість білка, клейковини, абсорбційної спроможності борошна (водопоглинаючої, лужно- і водоутримуючої), ступеня пошкодження гранул крохмалю, набування, співвідношення фракцій білка, фізичних властивостей тіста, хлібопекарських властивостей борошна [3, 14].

Таким чином, технологічні властивості зерна істотно впливають на ефективність ведення технологічного процесу виробництва борошна. Чим вище показники технологічних властивостей, тим більший вихід продукції, краще її якість, менше експлуатаційні витрати. Особливе значення мають показники, що характеризують масову частку ендосперму, ступінь зв'язку поділених анатомічних частин, а також якість і кількість клейковини.

При веденні технологічного процесу підготовки зерна до помелу можлива зміна (оптимізація) технологічних властивостей за допомогою водно-теплової обробки. При високій вихідній якості зерна гідротермічна обробка призначена в основному для оптимізації зерна за вологістю, руйнуванню зв'язків поділених анатомічних частин, розпушенню ендосперму зерна, мікро- і макротріщинами, пластифікацією оболонки. Особливого значення набуває гідротермічна обробка при використанні зерна зниженої якості, яке не може бути використане для продовольчих цілей без підсортування, і до таких дефектів можна віднести зерно зі слабкою клейковиною, яке утворюється в результаті різних змін кліматичних умов або при неправильному проведенні агротехніки. До такого зерна можна віднести: проросле, морозобійне суховійне, самозігрите, пошкоджене сушінням та шкідниками хлібних запасів, пошкоджене мікроорганізмами.

### 1.3 Біохімічний склад і властивості клейковини

Клейковина, відмита з пшеничного тіста, являє собою сильно гідратований гель, що складається в основному з білкових речовин, але містить, крім того, вуглеводи, ліпіди і мінеральні речовини [22].

За даними різних авторів, хімічний склад клейковини наступний: сума білків 75,0 – 99,0 % на суху речовину; крохмалю 0,01 – 9,4 %, цукру 1,2 – 2,1 %, ліпідів 0,7 – 8,0 %, мінеральних речовин 0,5 – 2,0 % на суху речовину [22, 23].

Основні характеристики клейковини – це пружність, міцність, еластичність, зв'язність, розтяжність, здатність до релаксації. Так, міцна, та, що коротко рветься клейковина твердої пшениці дає щільне, нееластичне тісто, яке має високу пружність, але малу розтяжність. З цієї причини тверда пшениця використовується для отримання макаронних виробів. Клейковина м'якої пшениці поєднує пружність і міцність з еластичністю. Завдяки цьому тісто м'якої пшениці має достатню міцність і розтяжність, добру газотримуючу здатність і при випічці хліба забезпечує пористу структуру. Серед сортів м'якої пшениці прийнято особливо виділяти сильні і слабкі пшениці. Борошно з сильної пшениці здатна поглинати при замішуванні тіста відносно більшу кількість води. Тісто з неї має здатність добре утримувати діоксид вуглецю. В процесі замісу, бродіння і вистоювання воно стійко зберігає високі фізичні властивості, мало розпливається. Цінність сильної пшениці – здатність служити при досортуванні ефективним поліпшувачем пшениці з низькими хлібопекарськими властивостями [10, 21].

Пшениця середньої сили сама по собі, без сторонньої добавки, здатна давати хліб хорошої або задовільної якості, але поліпшувачів вона служити не може. Тому таку пшеницю використовують за прямим призначенням без підсортуння [10, 21].

Слабкою вважають пшеницю, яка в чистому вигляді, без додавання сильної, для цілей хлібопечення непридатна. Борошно з такої пшениці при замішуванні тіста поглинає відносно мало води, тісто в процесі замісу і бродіння швидко погіршує свої фізичні властивості, стаючи слабким і липким. Під час вистоювання і при випічці подового хліба таке тісто сильно розпливається. Газотримувальна здатність його низька, тому формовий хліб має невеликий об'єм, знижену пористість, незадовільний зовнішній вигляд та стан м'якушки. Таку пшеницю можна використовувати в хлібопеченні лише при добавці до неї



сильної пшениці. В інших випадках її направляють на кормові або технічні цілі [10, 21 – 25].

Проводилось багато досліджень з метою з'ясувати, чим же відрізняються внутрішня структура сильної і слабкої клейковини зерна. Аналіз показав, що по-перше, співвідношення гліадину і глютеніна, основних білків в відмитій клейковиною близько до 2:3, а по-друге, в клейковиною дуже сильною, середньої і дуже слабкою воно практично одне і теж [22, 27, 28] .

Численними дослідженнями не було виявлено відмінність і в амінокислотним складом клейковини різної якості. Отже, відмінності в якості клейковини не обумовлено відмінностями в первинній структурі білків [22 – 24].

Детально досліджені були дисульфідні зв'язки і вільні сульфгідрильні групи у клейковиною різної якості. Однак закономірностей залежності між вмістом дисульфідних груп і якістю клейковини не спостерігалось. Але був зроблений висновок про першорядне значення глютеніна в формуванні пшеничної клейковини. Також було доведено різними роботами, що слабка клейковина відрізняється від сильної по розчинності її білкових компонентів [22, 27]

Таким чином, виходячи з отриманих результатів досліджень видно, що через недостатність досліджень особливостей природних біополімерів, до яких відноситься клейковина, і можливості впливу на їх властивості різноманітними хімічними, біохімічними та фізико хімічним факторами, з'являється необхідність вивчення впливу на слабку клейковину впливу тепла і вологи безпосередньо в процесі технології.

#### 1.4 Гідротермічної обробки як спосіб оптимізації властивостей зерна пшениці

##### 1.4.1 Традиційні способи гідротермічної обробки зерна

Всі без винятку вітчизняні та зарубіжні дослідники [6, 40, 41] відзначають, що властивості зерна істотно залежать від вологості і температури. Змінюючи ці

параметри, можна забезпечити оптимізацію технологічних властивостей зерна, підвищити ефективність його переробки.

Таким чином, застосовуючи гідротермічну обробку, можна цілеспрямовано змінювати вихідні властивості зерна з метою їх оптимізації, що має забезпечити високу технологічну ефективність.

В процесі гідротермічної обробки на зерно впливають теплом і водою. Тому параметрами, визначальними режим цього процесу, є вологість, температура, тиск і тривалість процесу (в цілому і по етапах) [30, 38].

Змінити вологість зерна можна різними способами: додаванням води в масу зерна, мийкою зерна в спеціальних машинах, обробкою зерна парою в спеціальних пропарювальних апаратах. Зволене зерно можна прогріти або ж провести наступні етапи процесу при звичайній температурі.

Конкретне поєднання цих параметрів процесу визначає варіант (метод) гідротермічної обробки, а значення параметрів в даному методі – режим обробки [1, 33].

Сучасні методи гідротермічної обробки дуже різноманітні. Поряд з простими прийомами, які включають зволоження зерна і відволоження в спеціальних бункерах, зустрічаються і більш складні прийоми. Ці прийоми включають термічну обробку зерна різними методами з застосуванням, наприклад, пари, вакууму, струмів високої частоти, інфрачервоного опромінення та ін. [30].

Сучасні способи гідротермічної обробки здійснюються найчастіше при нормальній температурі зерна, обумовлюється температурою навколишнього повітряного середовища, і при підвищеній температурі зерна при обробці сухим теплом в кондиціонерах і парою в пропарювачах різної конструкції [31, 38].

При холодному способі гідротермічної обробки зерно зволожується водою кімнатної температури на задану величину в спеціальних апаратах і потім витримують певний час в ємностях, тобто проводять відволоження. Параметри процесу визначаються якістю зерна та типом помелу [1, 42].

Зволоження зерна на початковому етапі може здійснюватися при обробці в машинах мокрого луцення, в мийних машинах, а додаткове зволоження здійснюється в спеціальних апаратах. При високій скловидності і низькій початковій вологості рекомендується дворазове основне зволоження і відволоження зерна [2, 30].

Гаряче кондиціонування здійснюється при прогріванні зерна до температури, що виключає негативний вплив на білковий комплекс. При цьому методі звожене зерно піддається термічній обробці в спеціальному теплообмінному апараті – кондиціонері. Залежно від властивостей зерно нагрівається до температури 45 – 57 °С. У процесі теплової обробки вологість зерна дещо знижується, прискорюється перебіг всіх процесів в зерні, одночасно зростає і ступінь змін, що відбуваються [33]. Гарячий спосіб кондиціонування дозволяє поліпшити якість клейковини зерна і скоротити час зволоження, що дозволяє здійснювати його на борошномельних заводах з обмеженою місткістю ємностей.

У деяких країнах виділяють в якості самостійного методу тепле кондиціонування, при якому нагрів зерна не перевищує 46 °С [20, 42].

При швидкісному способі гідротермічної обробки зерно після короткочасного (20 – 40 с) пропарювання вологою насиченою парою витримують протягом декількох хвилин в нагрітому стані в теплоізоляційному бункері, потім піддають мийці холодною водою в мийній машині. Завдяки такому різкому впливу на зерно властивості його змінюються швидко, і необхідна тривалість зволоження значно скорочується. Заключними операціями даного способу є обробка у вологознімачі, дозволоження в апаратах будь-якого принципу дії і відволоження протягом 180 хвилин [1, 40].

Пропарювання викликає зміцнення (пластифікацію) оболонки, більш рівномірне розпушення ендосперму і полегшує відділення оболонки від ендосперму. Група авторів пояснює легке відділення оболонки ущільненням білка, що міститься в клітинах алейронового шару [6].

Проводилися дослідження впливу тривалості зволоження після 1,5 – хвилинного пропарювання зерна (пар вводився в кількостях, достатніх, щоб підняти температуру зерна пшениці до 40 °С, 48 °С, і 65 °С) і встановили, що обробка паром при нагріванні зерна до 40 – 48 °С з подальшим 3 – годинним відлежуванням призводить до збільшення виходу борошна як з борошняних, так і з твердозерних сортів пшениці [35]. Було встановлено, що пропарювання м'якої німецької пшениці з доведенням температури до 40 °С викликає поліпшення її хлібопекарських властивостей, а нагрівання до 65 °С ушкоджує клейковину і інактивує ферменти. Були проведені дослідження щодо впливу нагрівання пшениці або борошна до різних температур на біохімічні та хлібопекарські властивості борошна. Була встановлена залежність між температурою і вологістю борошна або зерна і хлібопекарськими властивостями [42], а також те, що поліпшення хлібопекарських властивостей зерна може відбуватися в результаті теплової обробки в межі температур від 55 до 65 °С. Було рекомендовано проводити обробку деякої пшениці в суміші з іншою при більш високій температурі (71 °С). Відзначалося поліпшення хлібопекарських якостей зерна після 1,5 – годинної обробки при 55 °С, а при 60 °С – вже ознаки деякого надлишкового впливу [42].

Дослідні дані показують, що поліпшення хлібопекарських якостей в результаті теплової обробки спостерігаються у пшениці, яку додають у тісто з порівняно високою вихідною розтяжністю, і що така обробка супроводжується деяким зменшенням ступеня розтяжності і відповідним збільшенням гнучкості та еластичності тіста [42].

При вакуумному кондиціонуванні зволене зерно прогривається і підсушується в радіаторному теплообміннику в умовах зниженого тиску. Це забезпечує знімання вологи в розмірі 4 – 8 %, тому і зволоження зерна можна проводити до 20 – 23 %, в результаті чого збільшується ступінь перетворень технологічних властивостей і зерна [33].

Встановлено, що при вакуумному методі поліпшуються властивості макаронного борошна – крупки, призначеної для виготовлення макаронів. Крім

того, м'яке борошно, отримане з пшениці, обробленої за допомогою цього методу, відрізняється більшою тонкістю [25].

Таким чином, аналіз різних методів гідротермічної обробки та їх ефективності показав, вакуумний метод кондиціонування на вітчизняних борошномельних заводах не використовується. Практично не використовуються також швидкісний і гарячий методи гідротермічної обробки, що робить проблематичним використання зерна пшениці зі слабкою клейковиною.

#### 1.4.2 Вплив гідротермічної обробки на властивості зерна

Застосування гідротермічної обробки змінює вихідні властивості зерна для їх оптимізації і забезпечення високої технологічної ефективності помелу. Відомо, що партії зерна, що надходять на переробку, мають різні властивості, тому, щоб вибрати оптимальний варіант гідротермічної обробки, необхідно мати дані про залежність змін, що відбуваються в зерні від параметрів режиму обробки, таких як ступінь зволоження, час зволоження, температура процесу і кратність впливу.

Встановлено, що під впливом гідротермічної обробки мікроструктура деяких анатомічних частин зерна зазнає незворотних змін, які посилюються при підвищенні температури процесу, а також у разі застосування пари, НВЧ – обробки тощо [1].

Основний ефект від використання холодного кондиціонування пшениці полягає в руйнуванні мікротріщинами вихідної структури ендосперму. У склоподібному ендоспермі ці зміни помітніші, ніж у борошністому. Крім руйнування мікроструктури тріщинами, руйнуються зв'язки – оболонки, алейроновий шар, ендосперм, що робить можливим більш ефективний їх поділ в процесі технології борошна.

Під впливом гідротермічної обробки змінюються також фізико-хімічні властивості зерна. Це обумовлено набуханням зерна при зволоженні і відволоженні, незворотною зміною його структури, розпушення ендосперму макро і мікротріщинами [37].

При впливі теплом і вологою зерно пшениці різної крупності набухає неоднаково. Так об'єм зерна дрібної фракції зростає сильніше, ніж великої, що пов'язано з відносно великою зовнішньою поверхнею дрібного зерна. У зв'язку з цим при гідротермічній обробці підвищується вирівняність партії зерна, що позитивно впливає на ведення всіх наступних технологічних операцій.

Натура зерна при відволоженні спочатку різко знижується, а потім трохи зростає. Це пов'язано не тільки з набуханням зерна, а й зі зміною вологості оболонки [1].

Полімерні з'єднання, перш за все білкові речовини з колоїдними властивостями, набухаючи при зволоженні, збільшують об'єм зерна. Найбільше збільшення об'єму відзначається у зерна з міцною клейковиною і одночасно з більшою скловидністю, найменше – у зерна зі слабкою клейковиною і одночасно з низькою скловидністю [27].

Посилення інтенсивності обробки шляхом зміни ступеня зволоження, температури і тривалості зволоження по різному позначається на зерні зі слабкою, середньої і міцною клейковиною.

Так, встановлено, що при збільшенні пружності клейковини збільшуються зміни щільності і питомого об'єму зерна, що відбуваються в зерні під час гідротермічної обробки.

Товщина оболонки і алейронового шару зерна під час гідротермічної обробки змінюється в широких межах при одночасній більш-менш рівномірній зміні об'єму зернівки в цілому [37].

Скловидність зерна знижується в залежності від вологості, температури процесу і його тривалості. Скловидність пшениці і ступінь розпушення ендосперму при холодному кондиціонуванні добре корелює, так як обидва пов'язані з утворенням мікротріщин.

Геометрична характеристика зерна при підвищенні вологості і температури змінюється так, що збільшуються його лінійні розміри, об'єм, площа зовнішньої поверхні, сферичність тощо [37].

Властивості зерна істотно змінюються при вологості 14,5 – 16,5 %, температурі 45 – 55 °С.

Фізико-хімічні зміни в зерні під час гідротермічної обробки розвиваються в незворотному напрямку. При однакових значеннях вологості і температури властивості зерна можуть помітно відрізнятись (в залежності від того, яку обробку зазнала дана партія зерна). При циклічній обробці, коли після першого зволоження і відволоження вплив вологою і відволоження повторюються (збільшується кратність процесу), ступінь зміни властивостей зерна при кожному новому циклі знижується, але сумарний ефект виходить вище, ніж при одноразовому впливі. Для скловидного зерна досить 3-х циклів обробки (зволоження-відволоження), а для борошністого зерна двох циклів, після чого зміни фізико-хімічних властивостей вважаються незворотними [2].

Гідротермічна обробка істотно впливає на біохімічні властивості зерна і готової продукції. При зміні вологості і температури в зерні розвиваються біохімічні процеси, під впливом яких відбувається перерозподіл хімічних речовин за анатомічними частинами зернівки, з'являються продукти гідролізу біополімерів.

Встановлено, що при загальній тенденції збільшення активності протеази і ліпоксигенази при зволоженні зерна активність ліпоксигенази пшениці зростає на 45 % при зміні вологості зерна від 9 до 14 %. Спочатку активізуються протеази зародка. Відзначається максимум інтенсивності процесу при вологості зерна 14 – 15 %. Зростання активності протеаз зародка триває до 19 – 20 % вологості зерна, потім помітно знижується, а в ендоспермі, навпаки, зростає [37].

Вважається, що це відбувається внаслідок спрямованої міграції ферментів із зародка в ендосперм, можливо, за посередництвом алейронового шару [40].

Встановлено [30, 34], що клейковина слабкої і сильної пшениці має один і той же хімічний склад за вмістом амінокислот, а також однакове співвідношення гліадину і глютеніну. Це дозволяє при правильно підібраному режимі гідротермічної обробки цілеспрямовано змінювати властивості клейковини. Наприклад, при швидкісному кондиціонуванні можна в деякій мірі зміцнити

слабку клейковину, а міцну – послабити при холодному способі гідротермічної обробки або ж проводячи обробку при температурі 30 – 35 °С.

За даними [2] при холодному способі гідротермічної обробки не спостерігається помітної зміни білків під впливом протеаз. Тому, якщо треба послабити надмірно міцну клейковину, зерно обробляють при температурі 35 – 45 °С.

У дослідженнях [21, 34] також зазначається, що амінокислотний склад білків слабкої і сильної клейковини однаковий. Не відрізняється і співвідношення гліадину і глютенину. Отже, можна за допомогою гідротермічної обробки цілеспрямовано змінювати властивості клейковини: зміцнювати слабку і послаблювати міцну.

Під час гідротермічної обробки спостерігається певна зміна дісульфатних зав'язків і сульфгідрильних груп, що позначається на якості клейковини. Зміну числа дисульфідних зав'язків особливо помітно при швидкісному кондиціонуванні та жорсткому режимі, що імовірно призводить до підвищення еластичності клейковини.

При цьому тривалість пропарювання при швидкісному кондиціонуванні повинна становити 20 – 40 с. Ослаблена клейковина зміцнюється аж до 40 с пропарювання. Встановлено, що початкове значення клейковини 103 (по ІДК-1) через 10 с знизилося до 94, а через 20, 30 і 40 с зменшилось відповідно до 83, 65 і 53, а далі залишилося майже незмінним. Під впливом гідротермічної обробки, особливо при швидкісному кондиціонуванні, в борошні помітно підвищується вміст водорозчинних вітамінів [2, 35].

При використанні гідротермічної обробки, як технологічної операції, відбувається зниження зольності, збільшення білизни борошна, що є наслідком глибоких структурних змін в зерні: і в першу чергу це пов'язано з руйнуванням зав'язків поділюваних анатомічних частин зерна. Як наслідок цього в результаті гідротермічної обробки зерна вміст жиру в борошні знижується, а в висівках підвищується. Це означає, що периферійні частини зерна багатші жиром в меншій мірі потрапляють в борошно [28].



Під впливом гідротермічної обробки і біохімічних процесів в зерні змінюється вміст у борошні біологічно активних сполук, а також мінеральних речовин [1].

Одним з основних завдань гідротермічної обробки є зміна структурно-механічних властивостей ендосперму зерна і оболонки. У своєму природному стані властивості оболонки і ендосперму помітно різняться: оболонки більш пластичні і міцні, ендосперм – крихкий і здатний при подрібненні утворювати крупчаті продукти. Однак відмінність не настільки велика, тому при переробці сухого зерна практично неможливо досягти високих технологічних результатів.

При підвищенні вологості зростає пластичність зерна, внаслідок чого збільшується пластична і загальна деформація при стисненні, а пружність знижується. Особливо різкі зміни настають при вологості 15 – 16 %, що дозволяє прийняти цю вологість, як оптимальну технологічну [1, 6].

З підвищенням вологості зменшується мікротвердість оболонки зерна, що знижує її крихкість. Останнє мінімізує потрапляння її в борошно. При високій вологості зерна мікротвердість оболонки і ендосперму приблизно однакова.

Відзначається [28, 30, 31], що міцність (опір подрібненню) і інтенсивність руйнування зерна залежать від ступеня зволоження і часу зволоження. Як правило, при підвищенні вологості міцність зерна зменшується.

Температура хоча і впливає на зменшення або підвищення міцності і мікротвердості, але менше, ніж вологість [37].

Тривалість зволоження також впливає на структурно механічні властивості зерна, про це свідчить зміна деформації зерна при стисканні в залежності від часу зволоження. Так у пшениці першого типу при температурі зерна 20 °С, вологості 15,1 % і деформації стиснення відносна деформація зростає протягом 12 годин, потім залишається постійною. Це вказує на завершення до даного моменту перетворень структури і властивостей зерна [2].

Гідротермічна обробка зачіпає всі властивості зерна. В кінцевому рахунку це впливає на його технологічні властивості внаслідок залежності їх від біохімічних, структурно-механічних та інших властивостей [1, 11].

Різні способи гідротермічної обробки неоднаково впливають на властивості зерна. Як правило, грамотне використання теплового фактору позитивно впливає на технологічні властивості.

Так, за даними [1], результати помелу зерна при швидкісному кондиціонуванні помітно вище, ніж при холодному. Підвищився загальний вихід борошна, помітно знизилася його зольність.

Також істотно впливають температура на борошномельні властивості зерна при холодному кондиціонуванні. Якщо зерно надходить в охолоджену стані (нижче 0 °С), то оболонки його стають крихкими і при помелі надмірно дробляться, що призводить до їх потрапляння в борошно і його якість погіршується. Таким чином, при зниженні температури зерна помітно зростає зольність борошна і зменшується вихід борошна високих сортів [38, 41].

Вологість також впливає на технологічні властивості зерна. Найбільш сприятливі для технології значення вологості знаходяться в досить вузькому діапазоні від 15,5 до 16,5 %. Ця зона вологості отримала назву зони технологічних оптимумів. При оптимальній вологості зерна спостерігається мінімальна зольність борошна, максимальний об'ємний вихід хліба і мінімальна витрата енергії на тону виробленого борошна [6, 11].

Зміни властивостей, що відбуваються в зерні під час гідротермічної обробки, дозволяють заздалегідь припускати, які внутрішні зміни відбудуться в зерні в залежності від прийнятого способу і режимів волого-теплової обробки. Це має велике практичне значення, так як оптимум параметрів гідротермічної обробки безпосередньо пов'язується з виходом і якістю продукції.

Таким чином, гідротермічна обробка впливає на технологічні та хлібопекарські властивості зерна, служить для оптимізації технологічних властивостей зерна і це пов'язано з руйнуванням ендосперму мікро- і макро тріщинами, а також з руйнуванням зав'язків в анатомічних частинах, що розділяються.

У деяких випадках, наприклад, при втраті клейковиною зерна пружних властивостей, гідротермічна обробка з тепловою дією є єдиним з засобів оптимізації хлібопекарських властивостей зерна і борошна.

Сучасні способи гідротермічної обробки з тепловою дією: гаряче і швидкісне кондиціонування, в деяких випадках робить позитивний вплив на якість клейковини в сторону її зміцнення. Однак, для практичного використання цього явно недостатньо. Становище ускладнюється практично повною відсутністю реальних методів гідротермічної обробки всередині промислових підприємств – млинів.

Вищевикладене робить необхідним поглиблено досліджувати вплив тепла і вологи на оптимізацію хлібопекарських властивостей зерна.

#### 1.4.3 Спеціальні методи поліпшення якості слабкої клейковини в зерні і борошні

Традиційні способи гідротермічної обробки, які дозволяють змінити пружність клейковини зерна і борошна, як правило пов'язані з тепловою дією на зерно. Крім традиційних способів вивчалися можливості використання інфрачервоного випромінювання (ІЧВ), високочастотного випромінювання (ВЧ) і надвисокочастотного випромінювання (НВЧ), енергії ультразвуку (УЗ) [2].

Досліджували застосування НВЧ для обробки зерна пшениці з ослабленою клейковиною. При цьому було встановлено, що слабка клейковина підвищує свої пружні властивості [2].

Спроби застосування УЗ для інтенсифікації мийки зерна при підготовці до помелу показали перспективність методу. При обробці УЗ зменшується поверхнева мікрофлора зерна. Однак практичне його застосування стримує висока вартість установки [2].

Крім різних методів водно-теплової і хвильової обробки пшениці в дослідницьких і практичних цілях застосовують хімічні і фізичні методи впливу на клейковину.

Систематизувалися результати впливу різноманітних факторів – в основному хімічного характеру – на клейковину борошна і було запропоновано класифікувати хімічні сполуки в залежності від спрямованості впливу на три групи:

- перша група – хімічні сполуки, що підвищують еластичність і знижують розтяжність клейковини. До них відносяться хімічні сполуки: персульфати, перекис кальцію, перекис натрію, перекис ацетону, перекис ненасичених жирних кислот, ненасичені жирні кислоти, альдегіди, поліальдегідний крохмаль, аніоноактивні емульгатори. Аналогічний результат отримують від інтенсивного механічного впливу і нагрівання;

- друга група – хімічні сполуки, що знижують еластичність, підвищують розтяжність клейковини. До них відносяться: бісульфати, цистеїн, сечовина, глютаціон, неіоногенні емульгатори, протеолітичні ферменти;

- третя група – хімічні сполуки, що не роблять впливу на властивості клейковини. До них відносяться: бромати, йодати, мети- і карбоксиметилцелюлоза [22].

З органічних перекисів були досліджені перекис ацетону і бензолу з неорганічних – перекис кальцію і натрію. Перекис кальцію різко підвищує пружність і знижує розтяжність клейковини при застосуванні доз препарату від 0,005 % і вище від маси борошна. Дозування близько 0,1 % дає вже ефект переокислення, клейковина стає надмірно міцною, кришиться, практично не розтягується.

Аналогічно впливає на клейковину перекис натрію. Однак, при цьому спостерігається побічний вплив на білкові речовини їдкою натру, присутнього в препаратах перекису в незначній кількості [22, 24].

Перманганат калію в мінімальних дозах (23 мг екв на 1 г білка) практично не впливає на властивості клейковини, а більш висока його концентрація помітно зміцнює клейковину.

При ще більш високих дозах відбувається повна денатурація клейковинного білка.

З органічних перекисів вивчено вплив на якість клейковини перекису ацетону, яка застосовується в США як препарат, що прискорює дозрівання борошна. Перекис ацетону застосовується у вигляді крохмального концентрату, що містить близько 10 % активного кисню, робить специфічний вплив на клейковину, збільшуючи її пружність і знижуючи еластичність.

До групи хімічних речовин, що зміцнюють клейковину, відносяться також альдегіди. Найбільший вплив надає формальдегід, потім пропіоновий альдегід, ванілін і фурфурол. В межах використання одного і того ж альдегіду спостерігається ясна залежність між кількістю внесеного в тісто альдегіду і ступенем зміни властивостей клейковини. При дуже високих дозах альдегіду клейковина денатурується повністю [22].

На зміцнення клейковини зерна і борошна впливають ненасичені жирні кислоти і перекис ненасичених аліфатичних кислот, що входять до складу тригліцеридів пшениці [22].

Різко виражений ефект зміцнення клейковини і тіста спостерігається при введенні поверхневоактивних речовин (ПАР) аніоноактивного типу, наприклад додецил- і тетрадецилсульфати натрію. Дозування цих речовин в межах від 0,2 до 1,0 % маси борошна обумовлювала перехід навіть найслабшої, розрідженої клейковини в групу сильної або навіть надмірно міцної. Так як додецил – і тетрадецилсульфати натрію не є харчовими емульгаторами, то в дослідях використовували два допущених ПАР: панодан АМ і тегомульс Дв. Вони також надавали зміцнюючий вплив, але в різному ступені. Препарат панодан в дозуванні 0,5 % від маси борошна, препарат тегомульс при 0,25 %. Аналогічні результати отримали при використанні пенетрометра АП/4/1 та ПЕК-3А [22].

Відзначено також вплив на зміцнення клейковини препарату полісахариду морських водоростей. Особливо ефективний в цьому відношенні каррогенін – полісахарид, що видобувається з червоних морських водоростей. Каррагенін є сумішшю водорозчинних галактанов, етерифіцированих сірчаною кислотою і характеризуються високим вмістом ефірної сульфату – до 50 % від маси препарату [22].

Близький до карагеніну полісахарид фурцерролан – характеризується меншим вмістом сульфату. Він теж впливає на зміцнення клейковини. Агар, що відрізняється меншим вмістом сульфатної сірки, практично не впливає на властивості клейковини. Тому найбільш ефективним в мінімальних дозах є препарат карагенін.

Перераховані полісахариди являють собою аніоноактивні емульгатори. Завдяки наявності ефірного сульфату вони значною мірою зміцнюють клейковину.

З інших факторів, що впливають на зміцнення клейковини зерна і борошна, треба відзначити вплив важкої води. Заміна в гідратованій клейковині звичайної води на дейтеровану значно підвищує еластичність і знижує розтяжність. Цей ефект виражений тим сильніше, чим вище вміст дейтерію в обробленій клейковині [15, 21, 22].

Інтенсивна механічна обробка борошна також обумовлює зміцнення слабкої клейковини.

Таким чином, зміцнення слабкої клейковини зерна і борошна може бути здійснено і шляхом введення хімічних добавок, але вже на стадії виготовлення хліба та інших виробів з борошна.

#### Висновки за розділом

На підстав проведеного огляду, можемо стверджувати, що дана робота присвячена вирішенню актуальних питань сучасної технології борошна, таких як гідротермічна обробка зерна зі слабкою клейковиною, розробка методу прямої оцінки ефективності гідротермічної обробки зерна, впливу техногенної інтоксикації на якість товарного зерна, розподілу забруднювачів зерна по анатомічним частинам зерна і впливу технологічного процесу на екологічну чистоту основних і побічних продуктів технології.

Метою дослідження є аналіз впливу гідротермічної обробки зерна пшениці з низькими якісними показниками під час підготовки до помелу, а також оцінка

впливу техногенних факторів на санітарно-гігієнічні властивості зерна та їх зміни в процесі роботи борошномельного підприємства.

Відповідно до поставленої мети вирішувались наступні завдання:

- ✓ оцінити якість товарних партій зерна пшениці, вирощених в різних районах Дніпропетровської області за технологічними та екологічними параметрами;
- ✓ дослідити ступінь впливу різних методів водно-теплової обробки на якість клейковини зерна;
- ✓ розробити ефективний метод гідротермічної обробки зерна пшениці з ослабленою клейковиною;
- ✓ визначити якість зерна пшениці і продуктів його переробки за технологічними параметрами після проведення ГТО;
- ✓ виконати техніко-економічні розрахунки витрат на проведення досліджень.

Об'єктом дослідження є процес водно-теплової обробки зерна пшениці з низьким вмістом клейковини, його зв'язок із технологічними параметрами зерна та характеристиками обробки.

Предмет дослідження – закономірності, взаємозв'язки та вплив водно-теплової обробки зерна пшениці на ефективність технологічного процесу.

## 2 МЕТОДИЧНА ЧАСТИНА

### 2.1 Об'єкти досліджень

Для дослідження були взяті 10 сортів пшениці з районів Дніпропетровської області, а також партії товарного зерна пшениці, які надходили на переробку в період з 2023 – 2024 рр.

### 2.2 Методика лабораторних досліджень

#### 2.2.1 Визначення якісних характеристик зерна пшениці

Основні показники якості зерна визначали за стандартними методиками:

- натура зерна – ДСТУ 10840:2019;
- вологість зерна – ДСТУ 29144:2009;
- скловидність зерна – ДСТУ 4117:2007;
- кількість і якість клейковини зерна – ДСТУ 4117:2007;
- масу 1000 зерен – ДСТУ ISO 520:2015;
- приймання і методи відбору проб борошна і висівок – ДСТУ 4960:2008;
- правила приймання і методи відбору проб зерна – ДСТУ ISO 13690:2003;
- визначення білизни борошна – ДСТУ 26361:2019.

Хлібопекарські властивості зерна, визначення сили борошна перевіряли на альвеографі системи Шопена за стандартною методикою відповідно до ГСТУ 46.004-99.

#### 2.2.2 Оцінка вологопоглинаючої здатності зерна пшениці

Вологопоглинаюча здатність зерна пшениці оцінювали при імерсійному зволоженні з використанням ультратермостату марки УТ-2/77.

Для цього з середнього зразка відбирали десять наважок зерна пшениці, кожна з яких містила по 50 зерен і зважували їх з точністю до 0,0001 г. Кожну наважку зерна поміщали в сітчастий бюкс. Бюкси занурювали в воду термостата з



заздалегідь встановленою температурою. Через певні проміжки часу від 5, 15, 25, 40 до 60 хвилин бюкс з зерном витягували з термостата, знімали з зерна поверхневу вологу фільтрувальним папером і зважували на аналітичних вагах. За збільшенням маси розраховували ступінь зволоження зерна. Отримані результати виражали у відсотках. Температуру води в дослідях змінювали послідовно від 20 до 90 °С з інтервалом 10 °С.

### 2.2.3 Методика пропарювання і термостатування

Пропарювання зерна пшениці в лабораторних умовах здійснювали в лабораторній установці відповідно до рисунка 2.1. При цьому пробу зерна поміщали в спеціальну касету з перфорованим дном, яку встановлювали над перехідним патрубком, через який подавався вологий насичений пар з пароутворювача в зерно пшениці.

Для отримання вологого насиченого пара застосовується електронагрівач, що знаходиться під резервуаром з водою.

Температуру пропареного зерна вимірювали в спеціально сконструйованій теплоізоляційній ємності з блокуючою кришкою і отвором для ртутного термометра. Пробу зерна пшениці поміщали в ємність, щільно закривали блокуючою кришкою. При цьому головка ртутного термометра повністю поринала в зерно. Температуру зерна записували після припинення руху стовпчика ртуті.

Час термостатування змінювали від 5 до 30 хвилин. При цьому відбувається перетворення властивостей за допомогою сухого тепла, а також видаляється поверхнева волога з зерна. Процес термостатування здійснювали в термостаті марки SPT-200. Зразки попереднього обробленого зерна вносили в камеру термостата, в якій підтримувалася задана температура, і підсушували до оптимальної вологості, витримуючи при певній температурі, що дозволяло закінчити перетворення властивостей зерна в потрібному напрямку.

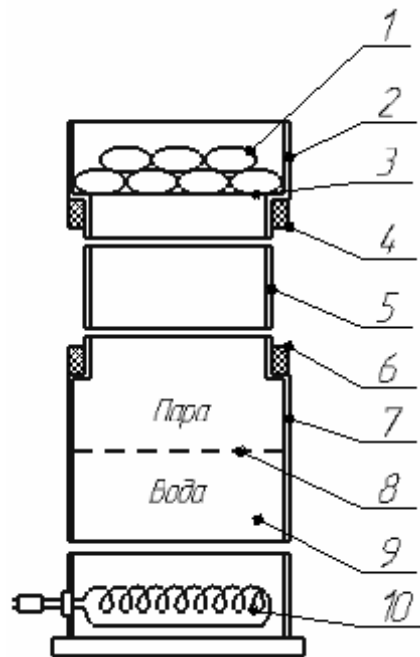


Рисунок 2.1. – Схема лабораторного пропарювача для зерна пшениці  
 1 – Зерно; 2 – касета; 3 – перфороване дно; 4 – ущільнювач касети;  
 5 – перехідний патрубок; 6 – ущільнювач патрубку; 7 – пароутворювач;  
 8 – перфорована перегородка; 9 – резервуар води; 10 – електронагрівач.

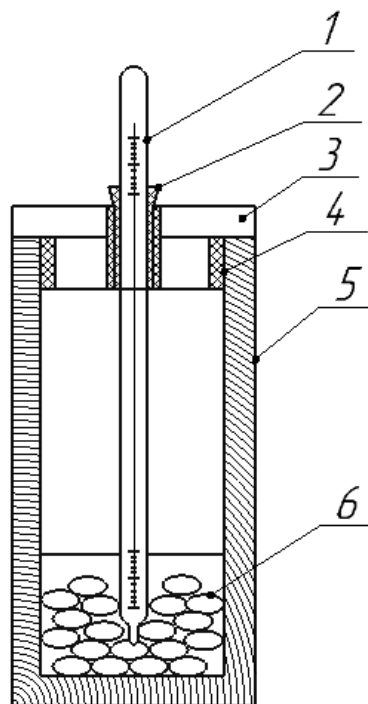


Рисунок 2.2 – Схема пристрою для визначення температури зерна пшениці  
 1 – ртутний термометр; 2 – ущільнювач; 3 – кришка з ущільнювачем;  
 4 – ущільнювач; 5 – теплоізоляційна ємність; 6 – зерно.

#### 2.2.4 Методи гідротермічної обробки, використовувані в роботі

В роботі вивчали ступінь зміни властивостей клейковини зерна при впливі тепла і вологи в різному взаємозв'язку і при різних режимних параметрах, використовуючи традиційні і нетрадиційні методи гідротермічної обробки. При цьому використовували:

- ✓ холодний спосіб гідротермічної обробки з подальшою обробкою сухим теплом в термостаті;
- ✓ традиційний швидкісний метод гідротермічної обробки;
- ✓ метод, який поєднує холодний спосіб гідротермічної обробки з подальшим пропарюванням і сушінням до технологічної вологості (розроблений метод).

Холодний спосіб гідротермічної обробки з подальшою обробкою зерна сухим теплом в термостаті включав такі операції:

- ✓ зволоження зерна водою кімнатної температури, в процесі мийки до заданої вологості;
- ✓ процес зволоження в оптимальному режимі відповідно до типу і скловидності зерна;
- ✓ термостатування в певному температурному режимі.

Температуру вимірювали в діапазоні від 45 до 65 °С. Часовий інтервал, в якому проводилися заміри, становив від 5 до 30 хвилин, через кожні 5 хвилин. Після теплової обробки зразки зерна виймали з термостата, визначали кінцеву вологість і якість клейковини в умовних одиницях ІДК [1].

Швидкісний спосіб гідротермічної обробки. Для моделювання даного способу в лабораторних умовах використовували лабораторну установку для пропарювання, мийку зерна здійснювали при повному зануренні у воду і застосовували сушку зерна в термостаті. При цьому зразки зерна пшениці пропарюють вологою насиченою парою протягом 10 – 30 секунд і керують за допомогою терморегулятора протягом 10 хвилин. Після цього зерно обробляли водою кімнатної температури при повному зануренні і нагрівали в термостаті протягом 10 хвилин. Потім зерно дозволювати до технологічної вологості

відповідно до типу і склоподібності і відволожували протягом 180 хвилин. У зерні пшениці, яке пройшло гідротермічну обробку визначали якість і кількість клейковини стандартним методом. Також проводили контроль ступеня зволоження, усихання і температури зерна [1].

Розроблений метод гідротермічної обробки, який поєднує в собі холодний спосіб гідротермічної обробки з подальшим пропарюванням і сушінням до технологічної вологості.

При використанні даного методу зразки зерна пшениці на початковому етапі обробляли в режимі холодного способу гідротермічної обробки, що включає в себе зволоження при повному зануренні у воду і відволоження. Ступінь зволоження і час зволоження визначали за типом, скловидністю і початковій вологості зерна. Оброблене таким чином зерно пропарюють вологою насиченою парою на установці, відповідно до рисунку 2.1 протягом 10, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 30 с, а потім за допомогою терморегулятора протягом 19 – 21 хвилини при температурі 44 – 46 °С для завершення перетворення властивостей клейковини і видалення надмірної вологи. В процесі гідротермічної обробки контролювали температуру зерна і ступінь зволоження (усушки). Зволоження контролювали ваговим методом. У зерні пшениці, що пройшло гідротермічну обробку розробленим методом, визначали кількість і якість клейковини стандартним методом.

#### 2.2.5 Метод оцінки ефективності гідротермічної обробки зерна

З вихідного зразка зерна відбирали наважку масою 50 г, доводили її до заданої вологості рідинно-крапельним способом, розмелювали на лабораторному млині ЛЗМ-1 (рис. 2.1), просівали на розсіві РЛУ-3 (рис. 2.2) з набором сит 6,5ПА-350, 11ПА-240, 14ПА-200, 21ПА- 160, 27ПА-120, 46ПА-60 і схід з сит зважували і виражали у відсотках.

Млин лабораторний зерновий ЛЗМ-1, призначений для розмелювання зразків пшениці. Зазори між вальцями, які застосовували:

- ✓ 130 мм і 210 мм регулюються від 1,2 до 0,2 мм через кожні 0,2 мм;

- ✓ 210 мм і 330 мм – 0,6; 0,4; 0,2; 0,06 мм;
- ✓ 3330 мм і 360 мм - від 1 до 0,1 мм через кожні 0,1 і 0,05 мм.

Млин складається з двох основних частин: розмелювальної і просіюючої.

При розробці способу оцінки ефективності впливу гідротермічної обробки, зерно пшениці обробляли методом холодного кондиціонування при різному ступені зволоження від 11 до 18 % з інтервалом 1 годину і різним часом зволоження від 1 до 20 годин з інтервалом 2 години. Зерно подрібнювали в режимі крупоутворюючого процесу. З продуктів подрібнення вилучали крупки і дунст і визначали в них вміст часток чистого ендосперму, зростків оболонки і ендосперму і оболонки.



Рисунок 2.1 – Млин лабораторний зерновий МЛЗВ-4М



Рисунок 2.2 – Розсійник лабораторний РЛУ-3

Для визначення якісного складу продуктів на розбірну дошку (рис. 2.3) висипали пробу продукту, ділили її методом хрестоподібного поділу і відраховували по 25 частинок з кожного сектора. Потім частинки переглядали за допомогою мікроскопа МБ-9 (рис. 2.4) і підраховували в 100 частинках кількість чистого ендосперму, зростків оболонки і ендосперму і чистих оболонки. Результати виражали у відсотках.



Рисунок 2.3 – Дошка розбірна



Рисунок 2.4 – Мікроскопа МБ-9

Вміст відповідних категорій продуктів порівнювали з еталоном, який визначали попередньо для зерна певної помольної партії. Еталоном є вміст у відносних одиницях частинок чистого ендосперму, зростків оболонки і ендосперму, чистих оболонки з невеликим вмістом ендосперму, отриманих для зерна, яке не пройшло гідротермічну обробку, і для зерна, що пройшло гідротермічну обробку в оптимальному режимі. Гідротермічна обробка вважається проведеною задовільно, якщо співвідношення ендосперму і зростків оболонки і ендосперму відповідає стандарту.

### Висновки за розділом

В даному розділі кваліфікаційної роботи було визначено об'єкти досліджень, запропоновано методики проведення лабораторних досліджень, які базуються на стандартних загальноприйнятих методиках визначення показників якості зерна, запропоновано також методику визначення оцінки вологопоглинаючої здатності зерна пшениці, методику пропарювання і термостатування. Виконано опис методів гідротермічної обробки, що були використовувані в роботі, а також метод оцінки ефективності гідротермічної обробки зерна.

### 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

#### 3.1 Якість досліджуваних товарних партій і сортового зерна пшениці

При формуванні партій зерна пшениці на переробку можливо змішування сортів, типів, районів зростання. Тому товарне зерно завжди відрізняється від сортового за основними показниками якості. У зв'язку з цим для дослідження було взято 10 сортів зерна пшениці що вирощуються на території Дніпропетровської області.

Був проведений аналіз за основними борошномельним і хлібопекарським показниками. Отримані дані зведені в таблицю 3.1 і 3.2.

Таблиця 3.1 – Показники якості сортового зерна пшениці

Сорт	Тип	Натура, г/л	Вологість, %	Скловидність, %	Клейковина	
					кількість, %	якість, у.од.
Крихітка	озима м'яка	735	8,2	56,0	22,6	84,0
Ніка	озима м'яка	755	12,0	49,0	18,0	115,0
Відлуння	озима м'яка	766	10,4	57,6	28,5	87,5
Половчанка	озима м'яка	753	10,0	45,0	27,2	90,0
Княжна	озима м'яка	751	8,7	56,5	20,4	80,0
Русса	озима м'яка	738	10,1	53,0	24,0	110,0
Дельта	озима м'яка	740	8,3	57,2	22,8	87,5
Леукурум 21	озима м'яка	780	12,1	63,3	24,4	120,0
Українська 43	озима м'яка	745	11,6	55,5	22,0	95,0
Українська 58	озима м'яка	730	11,0	54,0	20,4	93,0

Таблиця 3.1 ілюструє показники якості по борошномельним і хлібопекарським властивостям зерна пшениці різних сортів. Дані сорти є найбільш розповсюдженими сортами, що вирощуються на території Дніпропетровської області. Таблиця 3.2 відображає відомості про товарні партії пшениці, взятої на одному із млинів міста Дніпро. Дані партії підбиралися з таким розрахунком, щоб на їх основі можна було оцінити вплив теплового фактору на



зміну якості слабкої клейковини (за класифікацією, що є задовільною і незадовільною слабкою). Для цих партій також були отримані загальні відомості за борошномельними властивостями: натурі, вологості, масі 1000 зерен, скловидності, а також за хлібопекарськими – кількістю і якістю клейковини. [37]

Таблиця 3.2 – Показники якості товарних партій зерна пшениці по роках урожаю 2019 – 2024 рр.

Показники	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Натура, г/л	801,25	738,00	756,00	753,00	791,00	810,00
Вологість, %	9,1	10,9	11,0	10,1	12,6	11,4
Маса 1000 зерен, г	37,00	23,50	36,69	38,20	37,90	39,05
Скловидність, %	66,0	64,0	55,0	50,0	46,0	57,0
Клейковина: кількість, % якість, у.од.	25,85	20,59	25,00	23,00	23,20	22,60
	95	116	90	95	81	98

### 3.2 Вплив різних методів водно-теплової обробки на якість клейковини зерна пшениці

#### 3.2.1 Дослідження вологопоглинальної здатності зерна пшениці

Мийка зерна при повному зануренні у воду є невід’ємною частиною процесів гідротермічної обробки, як холодним способом, так і способами, пов’язаними з тепловою обробкою. Тому при моделюванні технологічних процесів гідротермічної обробки в лабораторних умовах мийка була імітована імерсійним зволоженням. Для контролю ступеня зволоження зерна в наступних дослідах були експериментально отримані кінетичні криві поглинання води.

Вологопоглинальну здатність зерна пшениці досліджували при різних температурах імерсійного зволоження термостатно-ваговим методом, при цьому використовували ультратермостат УТ-2/77. Для дослідів були взяті проби зерна пшениці відомої вологості, масу яких визначали на аналітичних вагах. Сітчасті бюкси з зерном занурювали в воду, температуру якої змінювали від 20 до 90 °С через кожні 10 °С. Час імерсійного зволоження змінювали від 5 до 60 хвилин.

Після закінчення заданого часу зразки виймали з води, просушували фільтрувальною папером і визначали масу. Ступінь зволоження розраховували за формулою:

$$W_k = W_n + \frac{\Delta P (W_o - W_n)}{P_3} \quad (3.1)$$

Кінетичні криві зволоження зерна при різній температурі імерсійної вологи представлені на рисунку 3.1. Аналіз графіків показує, що з підвищенням температури збільшується швидкість поглинання води зерном.

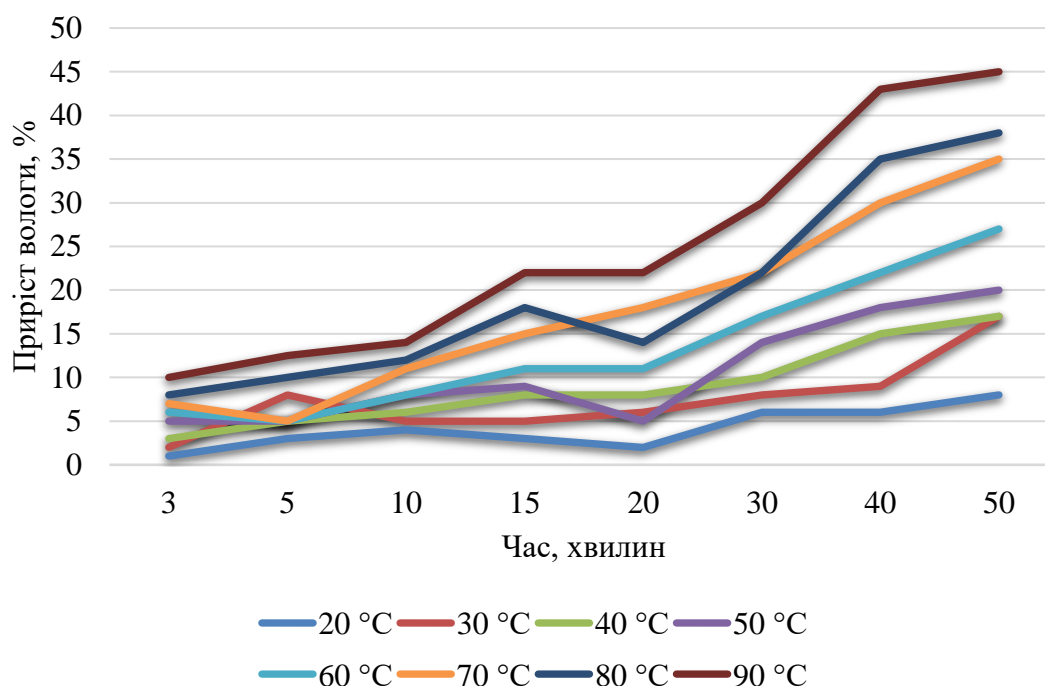


Рисунок 3.1 – Криві поглинання вологи зерном

Найбільшу швидкість поглинання вологи зерном спостерігали при 3 хвилинному зволоженні від початку процесу. Абсолютний максимум поглинання води в досліджуваному діапазоні зафіксовано при температурі 90 °C. Проникнення вологи в зерно при постійній температурі відбувається з неоднаковою інтенсивністю в часі. Спостерігається ступінчастий характер зволоження, що узгоджується з раніше отриманими даними [31].

Таким чином, температура води при гідротермічній обробці зерна є фактором інтенсивності процесу і важливим технологічним фактором. Отримані результати не розходяться з раніше отриманими даними інших дослідників [2].

Розвиток кривих поглинання вологи зерном при різних температурах води відбувається ідентично, на що вказує однаковий розвиток графіків, при різних температурах процесу. В цілому вологопоглинальна здатність зерна в процесі гідротермічної обробки знаходиться в прямій залежності від ступеня і тривалості зволоження, а також від температури води, що використовується, що не розходиться з раніше отриманими даними [16, 38].

### 3.2.2 Вплив способів водно-теплової обробки на зміну якості клейковини

Аналіз літературних даних показав, що відомі способи гідротермічної обробки зерна, в цілому, виявилися недостатньо ефективними для підготовки зерна пшениці, клейковина якої у високому ступені втратила свої пружні властивості і яку, як правило, не використовують в борошномельній технології. Тому в роботі вивчали вплив на зміну якості клейковини попередньо зволоженого зерна, способів теплового впливу, що поєднують в собі елементи традиційних і нетрадиційних методів гідротермічної обробки. При цьому вплив тепла і вологи, здійснювали в різному взаємозв'язку, при різних температурах і ступені зволоження.

Холодний спосіб гідротермічної обробки з подальшою обробкою сухим теплом в термостаті. Холодний спосіб є найбільш поширеним способом гідротермічної обробки в технології підготовки зерна до помелу на сучасних борошномельних заводах. Тому спроба поєднання цього способу з додатковим тепловим впливом, який повинен надавати позитивний вплив на слабку клейковину. При отриманні позитивного ефекту цей спосіб виявився б найбільш економічним. Обробку зерна пшениці вели за схемою, відповідно до рисунку 3.2.

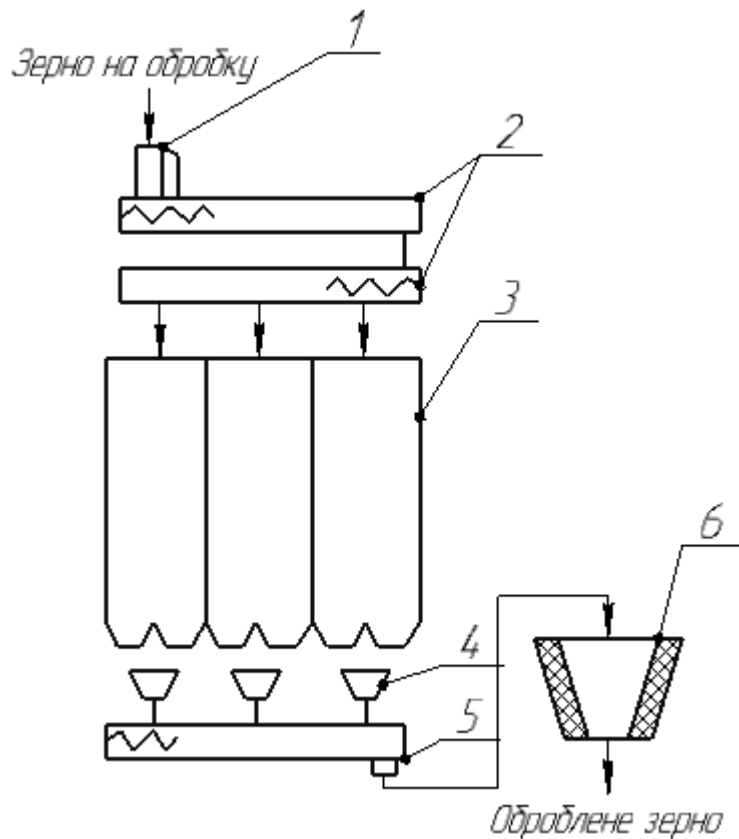


Рисунок 3.2 – Схема гідротермічної обробки зерна пшениці холодним способом з наступною обробкою сухим теплом

1 – індикатор води; 2 – шнек інтенсивного зволоження; 3 – бункера для відволоження; 4 – розподільня воронка; 5 – шнек; 6 – термостатуючий бункер.

Для дослідів використовували зерно IV типу з якістю клейковини по ІДК 95 і 116 у.од. Зерно зволожували до заданої вологості і відволожували в оптимальному режимі відповідно до типу і скловидності зерна. Вплив нагрівання на якість клейковини досліджували в діапазоні часу від 5 до 30 хвилин, через кожні 5 хвилин. Температура нагріву бралася від 45 до 65 °С. Потім зерно витягували з термостата і далі якість клейковини перевіряли стандартним методом.

Аналіз результатів показав, що вплив сухого тепла на попередньо зволожене зерно надавав деякий позитивний вплив на клейковину. Вже після 5 хвилин при температурі 45 °С впливу теплом спостерігали зміцнення клейковини, пружність якої в умовних одиницях ІДК склала 87,0 – 87,5 від первинної, яка

становила 95 у.од. Виходячи з результатів видно, що якість клейковини змінилась незначно і залишилась в межах другої групи (задовільно слабка). При початковому значенні пружності клейковини 116,0 у.од. по ІДК в результаті прогріву при температурі 65 °С зміцнення клейковини склало до 100 у.од. ІДК.

Аналогічні результати спостерігали і при інших температурах нагріву. Слід зазначити, що тривалість нагріву є істотним чинником зміцнення клейковини. Як правило, чим більше час прогріву, тим на більшу величину спостерігали зміцнення клейковини.

Таким чином, на підставі отриманих даних виявлено, що використовуваний метод водно-теплової обробки, що поєднує холодний спосіб гідротермічної обробки із застосуванням сухого тепла має порівняно невисоку технологічну ефективність і не може бути рекомендований для промислового застосування [18].

Швидкісний метод гідротермічної обробки зерна пшениці. Даний метод гідротермічної обробки зерна відноситься до інтенсивних. Він застосовується для зерна пшениці зі слабкою і нормальною клейковиною. Особливість даного методу полягає в тому, що на сухе зерно впливають вологою насиченою парою тобто одночасно нагрівання поєднується зі зволоженням, що передбачає більш швидку зміну технологічних властивостей зерна [1].

Для вивчення впливу швидкісного методу гідротермічної обробки на клейковину пшениці цей процес моделювали в лабораторних умовах за схемою, представленою на рисунку 3.3. При цьому зерно обробляли вологою насиченою парою протягом 30 – 40 с, яка керувалась за допомогою терморегулятора в теплоізоляційному бункері. Миття зерна імітували імерсійним зволоженням водою кімнатної температури. Нагрівання здійснювали в термостаті протягом 10 хвилин. Після цього зерно дозволювали і відволожували протягом 180 хвилин. Обробку вологою насиченою парою здійснювали в лабораторних умовах на спеціальній установці, відповідно до рисунку в розділі 2.

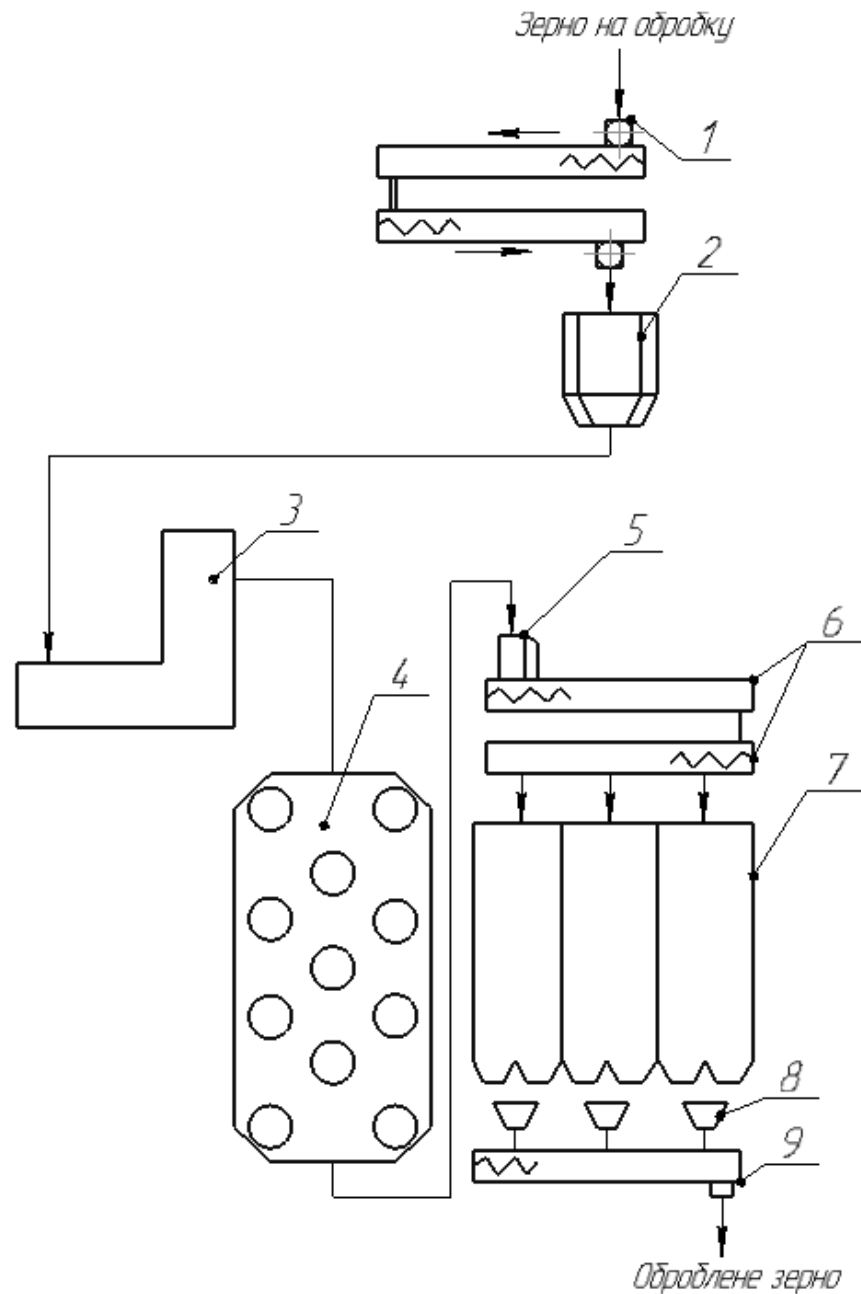


Рисунок 3.3 – Схема обробки зерна пшениці швидкісним методом

- 1 – кондиціонер АСК; 2 – теплоізоляційний бункер; 3 – мийна машина ММШ; 4 – вологознімач; 5 – індикатор води; 6 – шнек інтенсивного зволоження; 7 – бункери для зволоження; 8 – розподільна воронка; 9 – конвеєр.

Результати обробки зерна пшениці з незадовільно слабкою клейковиною цим методом представлені в таблиці 3.3. Аналіз отриманих даних показав, що зі збільшенням часу пропарювання зростає температура зерна, спостерігається збільшення вмісту і відбувається зміцнення клейковини зі 116 до 100 у.од. ІДК.

Інтенсивність зміцнення клейковини починається через 20 секунд від початку нагрівання, що відповідає температурі нагріву зерна 55 – 60 °С і приросту вологості – більше одного відсотка. Однак, це зміцнення незначне і якість клейковини за пружністю залишається по суті в межах однієї групи якості (незадовільно слабкої).

З огляду на короткочасність дії парою, і інерційність вологопереносу, по суті, вплив теплом здійснюється на клейковину сухого зерна, що не забезпечує належною мірою перетворення властивостей.

Таким чином, тепловий вплив на клейковину сухого зерна збільшує її пружність лише в деякій мірі. Однак межа збільшення незначна і не призводить до відчутного поліпшення хлібопекарських властивостей зерна. Останнє робить малоефективним використання швидкісного способу гідротермічної обробки при підготовці до переробки зерна з незадовільно і задовільно слабкою клейковиною.

Таблиця 3.3 – Параметри зерна пшениці після обробки швидкісним методом кондиціонування

Час пропарювання, с	10	20	21	22	23	24	25	30
Температура, °С	42	58	62	70	73	75	80	83
Приріст вологості, %	0,1	0,8	1,2	1,5	1,6	1,8	1,8	1.9
Якість клейковини, у. од	116	116	110	105	102	100	100	100

Таким чином, традиційний швидкісний метод гідротермічної обробки і холодний спосіб гідротермічної обробки в поєднанні з сухим нагріванням зерна не дають потрібного ефекту при впливі на зерно, клейковина якого, у високому ступені втратила свої пружні властивості (незадовільно слабка і задовільно слабка). Це імовірно пов'язано з тим, що тепловий вплив на білковий комплекс і, відповідно, на клейковину здійснюється при низькій вологості, який, як відомо, більш термостійкий, ніж вологий. Критичне значення вологості по [22] становить 14 – 15 %. Перевищення цієї вологості призводить до інтенсифікації всіх фізіологічних процесів в зерні. Навпаки, зерно з меншою вологістю добре зберігається. Тому практично завжди в переробку надходить зерно з вологістю

менше 12 % (дуже сухе зерно), що і визначає його значну термостійкість. З урахуванням значної інерційності вологопереносу і обмеженості в часі обробки пропарювання дуже сухого зерна при перетворенні властивостей слабкою клейковини не призводить до відчутного збільшення пружності клейковини.

Вплив попереднього зволоження і подальшого пропарювання на зміну якості клейковини. У розробленому методі гідротермічної обробки вплив вологої насиченої пари здійснювали на попередньо зволожене зерно. Схема проведення обробки приведена на рисунку 3.4.

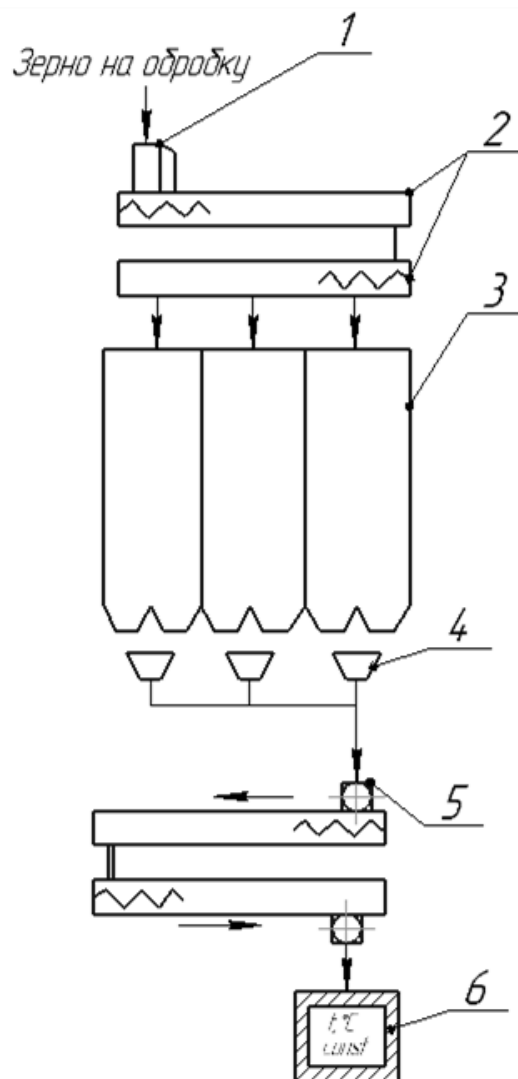


Рисунок 3.4 – Схема обробки зерна пшениці розробленим методом  
1 – індикатор води; 2 – шнек інтенсивного зволоження; 3 – бункер для відволоження; 4 – розподільна колонка; 5 – кондиціонер; 6 – термоізоляційний бункер.



При цьому зерно пшениці обробляли в режимі холодного способу гідротермічної обробки, який включає одноразове зволоження і відволоження відповідно до типу і скловидності зерна при його підготовці до сортового помелу. Після цього зерно пропарюють вологою насиченою парою в діапазоні часу від 10 до 60 секунд і обробляють теплом в часі, достатньому для доведення зерна до технологічної вологості. У зерні, що пройшло гідротермічну обробку за розробленим способом визначали зміну якості клейковини (зміцнення) стандартним способом. Аналіз графіків зміни пружності клейковини відповідно до рисунку 3.7 показав, що зміцнення клейковини спостерігалось в діапазоні часу пропарювання 20 – 30 с.

У цей проміжок часу якість клейковини в у.од. ІДК відповідно змінювалося з 95 у.од. до 74 у.од. ІДК і зі 116 у.од. до 76 у.од. ІДК.

Залежність між температурою пропарювання вологою насиченою парою і зміною пружності в умовних одиницях ІДК описується рівняннями:

$$Y_{95y.од.} = 0,0079x^2 - 1,1008x + 101,54 \quad (3.1)$$

$$Y_{116y.од.} = 0,0136x^2 - 1,9203x + 124,93 \quad (3.2)$$

Обробка експериментальних даних показала, що дані рівняння адекватно описують процес пропарювання.

У процесі пропарювання контролювали температуру зерна. Для цього кожен оброблений паром зразок засипали в теплоізоляційну ємність і визначали його температуру ртутним термометром, заблокованої з кришкою ємності. Визначення температури зерна необхідно для запобігання перегріву зерна, при якому можлива повна денатурація білкового комплексу і, як наслідок, різке погіршення якості клейковини, яка стає короткорвучою і призводить до повної втрати хлібопекарських властивостей зерна. Відповідно до рисунку 3.6 температура зерна підвищувалася з 20 до 80 °С протягом 40 – 60 с, максимальна

інтенсивність процесу спостерігається в перші 10 – 20 с пропарювання. Зона найбільшої зміни якості клейковини припадає на зміну температури зерна від 72 до 75 °С. У процесі дослідження також було встановлено рисунок 3.5.

При цьому було встановлено, що короткочасний нагрів (20 с пропарювання) навіть при високій температурі зерна не призводить до різкого погіршення клейковини і хлібопекарських властивостей. Клейковина при цьому відмивалася, а хліб мав досить високий об'ємний вихід.

В результаті проведених досліджень був розроблений і запропонований метод гідротермічної обробки зерна пшениці зі слабкою клейковиною. Суть його полягає в наступному: зерно після попереднього очищення від домішок, зволожують на величину, яку розраховують, виходячи з різниці між оптимальним значенням вологості зерна для переробки та початковою вологістю зерна. Зволоження здійснюють в процесі мийки, при якій волога поглинається всією поверхнею зерна. Після зволоження зерно відволожують заданий час. Оптимальну вологість і час зволоження приймають з урахуванням типу і скловидності зерна. Оброблене таким чином зерно, пропарюють вологою насиченою парою і термостатують протягом 10 – 20 хвилин в теплоізоляційному бункері.

Отримані в результаті обробки розробленим методом зразки зерна пшениці були досліджені на зміну хлібопекарських властивостей шляхом лабораторної випічки хліба [12], а також проведена перевірка на зміну сили борошна на альвеографі системи Шопена.

При проведенні лабораторної випічки хліба із зерна, що пройшло гідротермічну обробку за розробленим методом, отримали, що представлені зразки мають хороші хлібопекарські властивості. За об'ємним виходом хліб відповідає другій категорії, за формостійкістю – першій групі. Отже, дане зерно цілком може бути використано для переробки в борошно і випічки з неї хліба.

Аналіз борошна, проведений на альвеографі Шопена за стандартною методикою з використанням альвеограм, дав наступні результати, що приведені в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Показники якості борошна отриманого під час проведення досліджень в лабораторних умовах

Показник	Вихідний зразок	Зерно, оброблене парою	Зерно з доброю якістю
Сила борошна, е.а	142	146	161
Пружність, мм	90	139	104

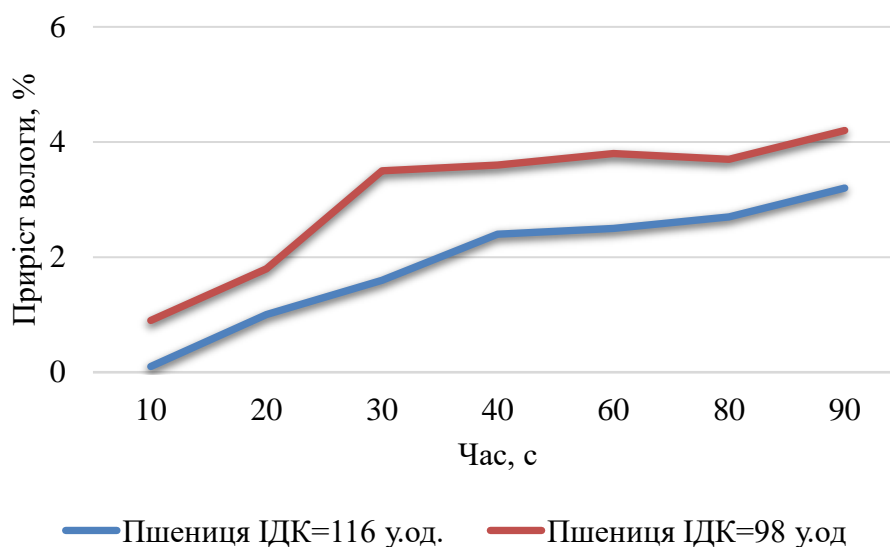


Рисунок 3.5 – Зміна приросту вологи зерна при пропарюванні

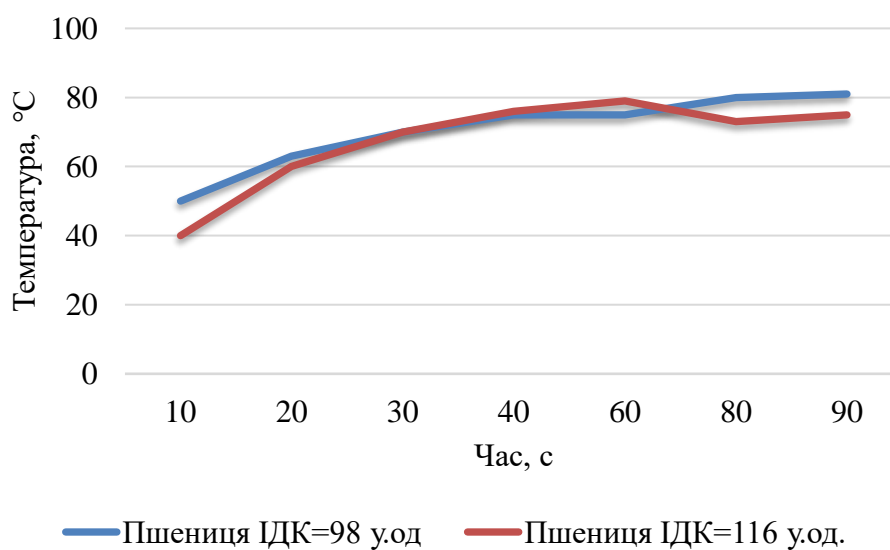


Рисунок 3.6 – Зміна температури зерна при гідротермічній обробці розробленим методом

Таким чином, згідно з отриманими даними, обробка зерна розробленим методом не привела до негативних наслідків. Результати аналізу показують, що після обробки сила і пружність борошна збільшилася.

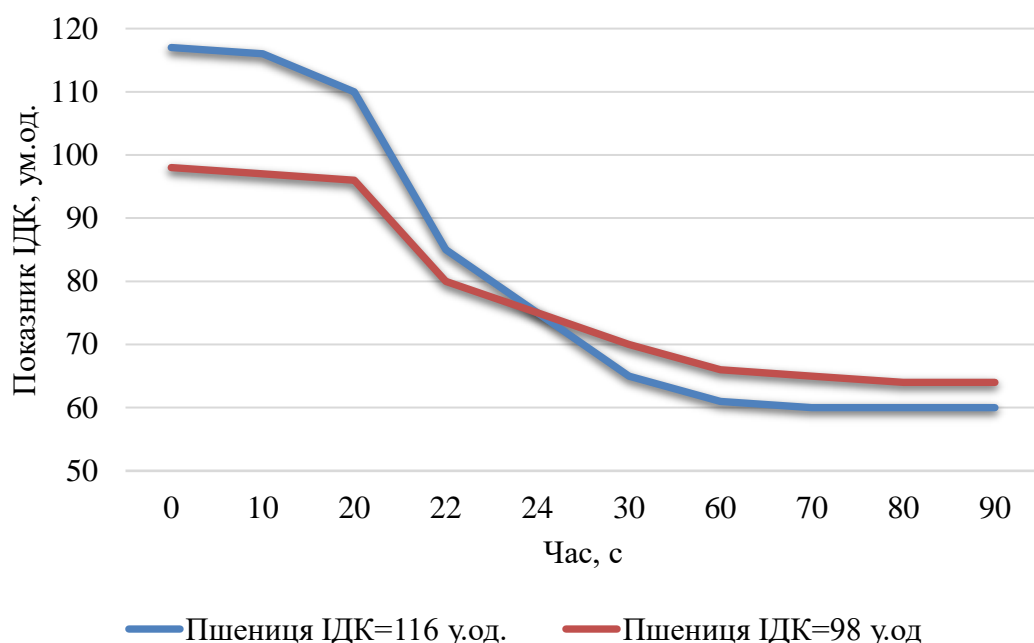


Рисунок 3.7 – Зміна якості клейковини зерна пшениці при пропарюванні

$$Y_{95y.од.} = 0,0079x^2 - 1,1008x + 101,54 \quad (3.3)$$

$$Y_{116y.од.} = 0,0136x^2 - 1,9203x + 124,93 \quad (3.4)$$

### 3.2.3 Час зберігання як фактор зміни якості клейковини зерна, що пройшло водно-теплову обробку за розробленим методом

Необхідно було перевірити, як змінюється пружність клейковини зерна, що пройшло гідротермічну обробку за пропонованим методом в процесі зберігання. Для цього зразки зерна пшениці, що пройшли гідротермічну обробку в оптимальному режимі, через певні проміжки часу зберігання (через 1 добу, 7 днів) перевіряли на зміну кількості і якості клейковини. Якість клейковини оцінювали в одиницях ІДК. Зберігання здійснювали в закритих ємностях протягом 2-х місяців. Відповідно до графіка, відображеному на рисунку 3.8 спостерігали деяке ослаблення клейковини зерна в процесі зберігання. При цьому

необхідно відзначити, що якість клейковини коливалася в межах однієї групи, що свідчить про стабільність перетворень, що відбулись.

Було знайдено рівняння, що описує залежність між часом зберігання і якістю обробленої клейковини в одиницях ІДК:

$$Y = 2,3661 \ln(x) + 56,784 \quad (3.8)$$

Проведена математична обробка експериментальних даних показала, що отримане рівняння адекватно описує процес зберігання обробленого розробленим методом зерна пшениці з ослабленою клейковиною.

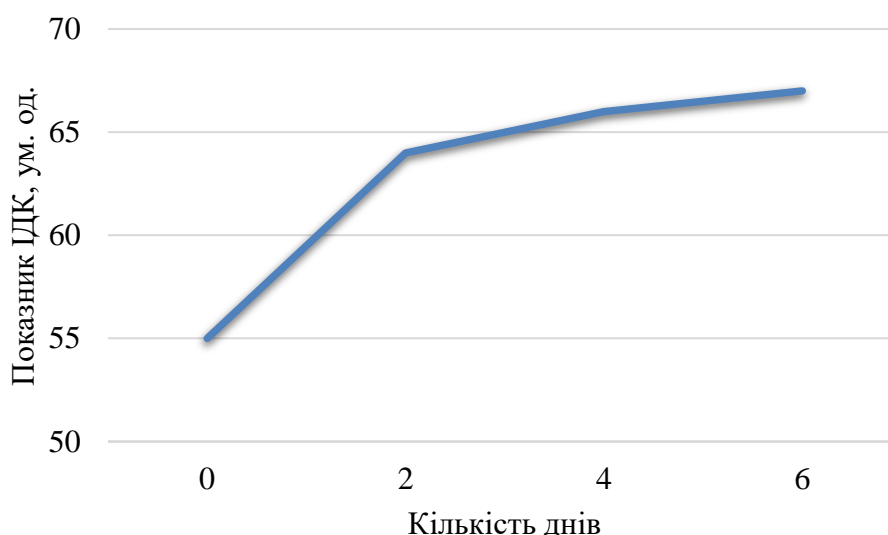


Рисунок 3.8 – Зміна якості клейковини зерна, що пройшло теплову обробку в процесі зберігання

Для забезпечення стабільної роботи борошномельного заводу протягом тривалого часу необхідний деякий запас зерна. За нормативними даними, прийнятими в галузі хлібопродуктів, вони повинні забезпечувати безперервну роботу підприємства протягом не менше ніж 3-х місяців. При використанні некондиційного зерна, до якого відноситься і зерно зі слабкою клейковиною, воно може витратитися як підсортуюче до зерна з сильною клейковиною або самостійно, пройшовши відповідну гідротермічну обробку запропонованим

способом. Проблема полягає в тому, що більшість борошномельних заводів в системі хлібопродуктів не мають можливості використовувати теплову обробку при підготовці зерна до помелу, так як гідротермічна обробка здійснюється холодним способом. Тому при значному надходженні зерна зі слабкою клейковиною можлива попередня його обробка розробленим методом і створення певного оперативного запасу.

Це можна здійснювати на спеціалізованому підприємстві або на окремій технологічній лінії даного підприємства. При цьому технологія повинна включати все необхідне для досягнення ефекту зміцнення клейковини.

Таким чином, розроблений метод може бути використаний на спеціалізованому підприємстві.

### 3.3 Вплив ступеня зволоження і відволоження на якісний склад проміжних продуктів сортового помелу

В даний час в практиці роботи борошномельних заводів в якості оціночного критерію процесу гідротермічної обробки зерна використовують непрямі методи, засновані на результатах помелу. При цьому визначають виходи і зольність борошна загального потоку, тільки борошна вищого ґатунку, високих сортів (першого і вищого), а також експлуатаційні витрати. Використовують також комплексні критерії. Недоліком даних способів при оцінці гідротермічної обробки є те, що аналогічними способами оцінюють результати помелу в цілому, що робить неможливим оцінити вплив на технологічний ефект помелу окремо гідротермічної обробки. Це особливо важливо на стадії управління технологічним процесом, коли необхідно прийняти єдино правильне рішення для оптимізації технологічного процесу в цілому за результатами контролю та оптимізації окремих етапів, яким є гідротермічна обробка зерна. Наслідком гідротермічної обробки є зміна скловидності, руйнування зав'язків оболонки і ендосперму, що призводить до оптимізації властивостей зерна. Тому для визначення змін, що

відбуваються в зерні пшениці під час гідротермічної обробки, були проведені наступні дослідження:

- 1) міняли ступінь зволоження;
- 2) міняли час зволоження.

При цьому оцінювали зміни за скловидністю, білизною, зі зміни якісного складу в співвідношенні ендосперму і оболонки.

Визначили зміну скловидності при відволоженні і при зволоженні. Визначили зміни технологічних властивостей зерна пшениці.

Для визначення ступеня впливу вологості і часу зволоження на тріщинуватість і скловидність досліди були поставлені в такий спосіб:

а) зміна тріщинуватості і скловидності при зволоженні. Зерно пшениці замочували у воді певний час і при досягненні вологості 12, 13, 14, 15, 16, 16,5, 17, 18 % проводили відволоження протягом 16 годин, після чого проводили вимірювання. Визначення скловидності проводилося відповідно до ДСТУ 3768:2019, тріщинуватість за методикою описаної в розділі 2; дослідні дані зведені в таблицю 3.5.

Таблиця 3.5 – Зміна скловидності і тріщинуватості зерна пшениці при зволоженні

Показник якості	Вологість, %								
	11	12	13	14	15	16	16,5	17	18
Тріщинуватість, %	76	80	82	86	86	90	94	94	94
Скловидність, %	68	60	59	59	58	57	61	63	64

Аналіз таблиці 3.5 показує, що тріщинуватість найбільш інтенсивно збільшується при вологості 15 – 17 %, а скловидність змінюється по кривій з екстремумів в зоні вологості від 14 до 15 %, тобто скловидність зі збільшенням вологості спочатку знижується, а потім частково відновлюється;

б) зміна тріщинуватості і скловидності при відволоженні. Зерно пшениці замочували у воді, доводячи його до вологості 16,5 %, потім проводили відволоження протягом 1, 3, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18 і 20 годин. Після закінчення

заданого часу зволоження, проводили вимірювання тріщинуватості і скловидності. Дослідні дані зведені в таблицю 3.6.

Таблиця 3.6 – Зміна скловидності і тріщинуватості зерна пшениці при відволоженні

Показник якості	Час зволоження, год									
	1	3	6	8	10	12	14	16	18	20
Тріщинуватість, %	76	78	80	79	80	80	82	88	94	94
Скловидність, %	65	59	54	56	57	58	59	61	66	67

Аналогічні зміни скловидності і тріщинуватості відбуваються і при зміні часу зволоження. Тріщинуватість інтенсивно збільшується при збільшенні часу зволоження з 12 до 20 годин, а скловидність розвивається за такою ж залежністю з точкою екстремуму від 6 до 10 годин, при подальшому збільшенні часу зволоження спостерігається часткове відновлення скловидності;

в) зміна якісного складу зерна пшениці по співвідношенню оболонки і ендосперму. Для вивчення впливу на зміну технологічних переваг зерна пшениці були проведені визначення виходів продуктів розмелювання зерна пшениці, білизни даних продуктів, а також визначено якісний склад деяких продуктів розмелювання.

Попередньо на лабораторному млині МЗВ-1 були підібрані оптимальні зазори з метою отримання найбільшого виходу крупок. Методика проведення описана в розділі 2.

Оптимальним виявився режим при встановлених зазорах 45; 0,6; 0,4. Просіювання продуктів помелу проводилось на лабораторному розсіві з набором сит 6,5 ПА-350, 11ПА-240, 14ПА-200, 21ПА-160, 27ПА-120, 46ПА-60.

Для вивчення впливу вологості в зразки вносили крапельно-рідким способом певну кількість води.

Для зерна, яке досягло вологості 12, 13, 14, 15, 16, 16,5, 17 і 18 %, проводили відволоження протягом 16 годин, потім розмелювали зразки на



лабораторному млині, просівали на розсіві. Схід з сит зважували на технічних вагах і піддавали дослідженню.

Для вивчення впливу часу зволоження зразки зерна пшениці доводили крапельно-рідким способом до вологості 16,5 %, відволожували протягом 1, 3, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18 і 20 годин і для кожного зразка проводили дослідження.

Утворені продукти розмелювання були зважені, а результати зведені в таблицях 3.7 і 3.8.

Таблиця 3.7 – Вихід продуктів розмелювання при зволоженні

Вологість, %	Вихід продуктів, %						
	-/6,5 ПА	6,5ПА/ 11ПА	11ПА/ 14ПА	14ПА/ 21ПА	21ПА/ 27ПА	27ПА/ 46ПА	46ПА/-
11	16,5	24,3	19,5	13,3	4,5	9,9	12,0
12	23,5	19,7	19,2	10,0	5,1	9,4	13,1
13	28,3	17,9	19,2	9,2	5,0	9,6	10,8
14	28,0	14,8	19,2	9,8	5,1	9,6	13,5
15	30,4	13,2	18,4	9,5	5,3	10,3	12,9
16	32,9	11,5	16,4	11,2	3,8	5,1	19,1
16,5	32,0	12,0	16,1	13,1	2,5	10,4	13,9
17	34,8	9,0	16,7	8,8	2,9	10,6	14,2
18	38,8	9,3	12,9	10,4	3,3	4,1	22,2

Аналіз таблиці 3.7 показав, що з збільшенням ступеня зволоження вихід продуктів розмелювання зменшується, винятком є схід з сита -/6,5ПА і 46ПА/ - в цьому випадку йде збільшення виходу продукту.

Таблиця 3.8 - Вихід продуктів розмелювання при відволоженні

Час відволоження, год	Вихід продуктів, %						
	- /6,5ПА	6,5ПА/ 11ПА	11ПА/ 14ПА	14ПА/ 21ПА	21ПА/ 27ПА	27ПА / 46ПА	46ПА/ -
1	23,6	15,6	17,9	14,5	5,1	10,5	12,8
3	30,9	12,9	17,2	П, 1	3,9	9,8	14,2
6	30,3	13,3	15,9	11,7	5Д	9,6	14,1
8	32,3	11,5	16,4	9,7	5,3	10,5	14,3
10	35,3	9,6	13,7	9,2	5,1	10,0	15,3
12	36,4	9,3	13,7	10,6	4,6	8,9	15,8
14	36,7	9,6	15,4	11,0	3,0	10,8	14,9
16	32,0	12,0	16,0	10,9	3,1	10,4	14,2
18	35,8	9,3	15,05	10,9	3,1	11,2	15,05
20	34,2	10,9	14,7	10,9	3,3	11,7	14,2

При зміні часу зволоження (таблиця 3.8) спостерігається аналогічна картина: зі збільшенням часу зволоження вихід продуктів розмелювання зменшується і тільки для продукту -/6,5ПА і 46ПА/- спостерігається збільшення.

Вивчалась зміна білизни продуктів розмелювання при зміні часу зволоження і ступеня зволоження.

Визначення білизни продуктів розмелювання проводили відповідно до ДСТУ 26361:2019. Отримані результати зведені в таблиці 3.9 і 3.10.

Таблиця 3.9 – Зміна білизни продуктів розмелювання при зволоженні

Вологість, %	Білизна, у.од.						
	-/6,5ПА	6,5ПА/ 11ПА	11ПА/ МПА	МПА/ 21ПА	21ПА/ 27ПА	27ПА/ 46ПА	46ПА/-
11	8	9	15	21	19	24	33
12	8	10	17	21	20	25	33
13	8	9	20	21	20	26	32
14	7	11	19	22	22	27	36
15	9	11	20	24	23	29	35
16	9	11	22	24	21	27	35
16,5	10	11	23	27	24	33	38
17	10	12	23	25	25	32	36
18	11	13	23	27	22	27	38

Аналіз таблиці 3.9 показує, що при наближенні до технологічної вологості 15 – 17% білизна продуктів розмелювання збільшується для всіх фракцій крупності. Збільшення ж вологості понад технологічної призводить до деякого зниження білизни.

При зміні часу зволоження (таблиця 3.10) відбувається процес зміни білизни за механізмом аналогічного як при зміні ступеня зволоження, тобто при наближенні до технологічного часу зволоження 12 – 18 годин, білизна продуктів розмелювання всіх фракцій крупності збільшується. При подальшому збільшенні часу зволоження відбувається деяке зниження білизни.

Таким чином, ступінь зволоження і час зволоження грають істотну роль в забезпеченні підвищення якості продуктів розмелювання зокрема по білизні, а також впливають на вихід продуктів в технології помелу.

Таблиця 3.10 – Зміна білизни продуктів розмелювання при зміні часу відволоження

Час відволоження, год	Білизна, у.од.						
	-/ 6,5ПА	6,5ПА/11ПА	11ПА/14ПА	14ПА/21ПА	21ПА/27ПА	27ПА/46ПА	46ПА-
1	9	9	18	23	21	24	36
3	11	12	21	24	22	26	37
6	10	12	21	26	23	28	38
8	10	12	21	25	23	29	37
10	11	12	22	24	25	31	37
12	11	12	23	25	24	28	39
14	10	12	24	27	24	32	40
16	10	13	23	27	24	33	38
18	11	12	25	25	24	32	38
20	11	12	24	25	23	32	39

Для вивчення впливу гідротермічної обробки на якість продуктів розмелювання був проведений аналіз деяких продуктів, зокрема продукту 6,5ПА/11ПА і 11ПА/14ПА. Методика проведення докладно описана в розділі 2. Дані щодо зміни якісного складу продукту 6,5ПА/11ПА в залежності від ступеня зволоження і часу відволоження зведені в таблиці 3.11 і 3.12.

Таблиця 3.11 – Зміна якісного складу продукту 6,5ПА/11ПА при зволоженні

Найменування продукту	Вологість, %								
	11	12	13	14	15	16	16,5	17	18
Ендосперм	30	29	35	38	39	41	40	46	45
Зростки	56	53	50	49	48	46	43	45	46
Оболонки	14	18	15	13	13	13	15	9	9

Таблиця 3.12 – Зміна якісного складу продукту 6,5ПА/11ПА при відволоженні

Найменування продукту	Час відволоження, год									
	1	3	6	8	10	12	14	16	18	20
Ендосперм	23	33	35	35	36	37	45	39	43	40
Зростки	53	47	45	46	47	46	40	43	44	45
Оболонки	26	20	20	19	16	14	15	18	13	15

При оцінці якісного складу таблиці 3.11 і 3.12 (за вмістом оболонок) продукту 6,5ПА/11ПА (велика крупка) було встановлено, що збільшення вологості і часу відволоження до технологічних значень призводить до збільшення виходу частинок чистого ендосперму і зниження виходу оболонок і зростків.

Таким чином, співвідношення ендосперму, зростків і оболонок в продуктах подрібнення може бути використано як спосіб оцінки оптимальної вологості і часу відволоження.

#### 3.4 Розробка способу оцінки ефективності гідротермічної обробки зерна

В основу розробленого методу покладене розходження за структурно-механічними властивостями зерна, що пройшло і не пройшло гідротермічну обробку або в неефективному режимі. Технологія підготовки зерна до помелу заснована на поділі головних анатомічних частин – продуктів подрібнення, в тому числі проміжних продуктів технології – крупок і дунстів, які представляють собою суміш чистого ендосперму, зростків оболонок і ендосперму, а також оболонок з незначним вмістом ендосперму. У зерна, яке не пройшло гідротермічну обробку або того що пройшло гідротермічну обробку в неоптимальному режимі, перетворення властивостей незначні, структура ендосперму не передзруйнована мікро- і макротріщинами, не зруйновані зв'язки поділених анатомічних частин – оболонок, алейронового шару, зародка і ендосперму. Тому при подрібненні таке зерно дає багато зростков оболонок

ендосперму, що свідчить про збереження міцних зв'язків між анатомічними частинами, що розділяються і неефективну гідротермічну обробку. Як наслідок, з такого зерна неможливо отримати високий вихід борошна вищих сортів, так як подрібнення зростків оболонки і ендосперму неминуче призведе до потрапляння дрібних частинок оболонки в борошно, підвищуючи його зольність.

У зв'язку з вищевикладеними результатами дослідження було запропоновано наступне рішення для визначення ефективності ведення гідротермічної обробки при технології підготовки до помелу.

Сутність розробленого методу полягає в наступному: з продуктів розмелювання зерна відбирають пробу одного з проміжних продуктів помелу, наприклад, великої крупки, розкладають тонким шаром на аналізованій дошці у вигляді квадрата, і відбирають з чотирьох протилежних сторін квадрата по 25 часток, всього 100 частинок, переглядають при невеликому збільшенні в 6 – 10 раз і підраховують в них вміст часток чистого ендосперму, частинок у вигляді зростків оболонки і ендосперму, частинок у вигляді вільних оболонки з невеликим вмістом ендосперму. Вміст відповідних категорій продуктів порівнюють з еталоном, який визначають попередньо для зерна певної помольної партії. Еталоном є вміст у відносних одиницях частинок чистого ендосперму, зростків оболонки і ендосперму, чистих оболонки з невеликим вмістом ендосперму, отриманих для зерна, що не пройшло гідротермічну обробку, і для зерна, що пройшло гідротермічну обробку в оптимальному режимі. Гідротермічна обробка вважається проведеною задовільно, якщо співвідношення ендосперму і зростків оболонки і ендосперму відповідає стандарту.

#### Висновки за розділом

В результаті проведених досліджень був розроблений і запропонований метод гідротермічної обробки зерна пшениці зі слабкою клейковиною. Суть його полягає в наступному: зерно після попереднього очищення від домішок, зволожують на величину, яку розраховують, виходячи з різниці між оптимальним

значенням вологості зерна для переробки та початковою вологістю зерна. Зволоження здійснюють в процесі мийки, при якій волога поглинається всією поверхнею зерна. Після зволоження зерно відволожують заданий час. Оптимальну вологість і час зволоження приймають з урахуванням типу і скловидності зерна. Оброблене таким чином зерно, пропарюють вологою насиченою парою і термостатують протягом 10 – 20 хвилин в теплоізоляційному бункері.

Було перевірено, як змінюється пружність клейковини зерна, що пройшло гідротермічну обробку за пропонуваним методом в процесі зберігання. Зберігання здійснювали в закритих ємностях протягом 2-х місяців. Спостерігали деяке ослаблення клейковини зерна в процесі зберігання. При цьому необхідно відзначити, що якість клейковини коливалася в межах однієї групи, що свідчить про стабільність перетворень, що відбулись.

Дослідивши тріщинуватість можемо стверджувати, що тріщинуватість найбільш інтенсивно збільшується при вологості 15 – 17 %, а скловидність змінюється по кривій з екстремумів в зоні вологості від 14 до 15 %, тобто скловидність зі збільшенням вологості спочатку знижується, а потім частково відновлюється.

Встановлено, що аналогічні зміни скловидності і тріщинуватості відбуваються і при зміні часу зволоження. Тріщинуватість інтенсивно збільшується при збільшенні часу зволоження з 12 до 20 годин, а скловидність розвивається за такою ж залежністю з точкою екстремуму від 6 до 10 годин, при подальшому збільшенні часу зволоження спостерігається часткове відновлення скловидності.

#### 4 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ПІДГОТОВКИ ЗЕРНА ПШЕНИЦІ ЗІ СЛАБКОЮ КЛЕЙКОВИНОЮ ДО ПОМЕЛУ

При розробці технологічної схеми підготовки зерна пшениці з ослабленою клейковиною користувалися промисловою схемою підготовки зерна до помелу відповідно до Правил ведення технологічного процесу. У цю схему було внесено корективи відповідно до розробленого нами методу гідротермічної обробки зерна пшениці зі слабкою клейковиною, які полягали в наступному: після попереднього очищення від домішок зерно, з урахуванням Правил ведення технологічного процесу, зволожують на величину, яку розраховують, виходячи з різниці між оптимальним значенням вологості зерна для переробки та початкової вологості. Зволоження здійснюють в процесі миття або в зволожувальних апаратах. Після зволоження зерно відволожують певний проміжок часу. Оптимальну вологість і час зволоження приймають з урахуванням типу і скловидності зерна. Далі зерно проходить остаточне очищення від домішок і направляється для обробки на лінію пропарювання, там зерно пропарюють вологою насиченою парою протягом 20 – 30 с і термостатують протягом 10 – 20 хвилин в теплоізоляційному бункері. При перезволоженні можливо підсушування зерно з доведенням до технологічної вологості.

Представленим методом можна збільшити пружність клейковини зерна пшениці з ослабленою клейковиною, а також поліпшити технологічні властивості зерна в цілому (рисунок 4.1).



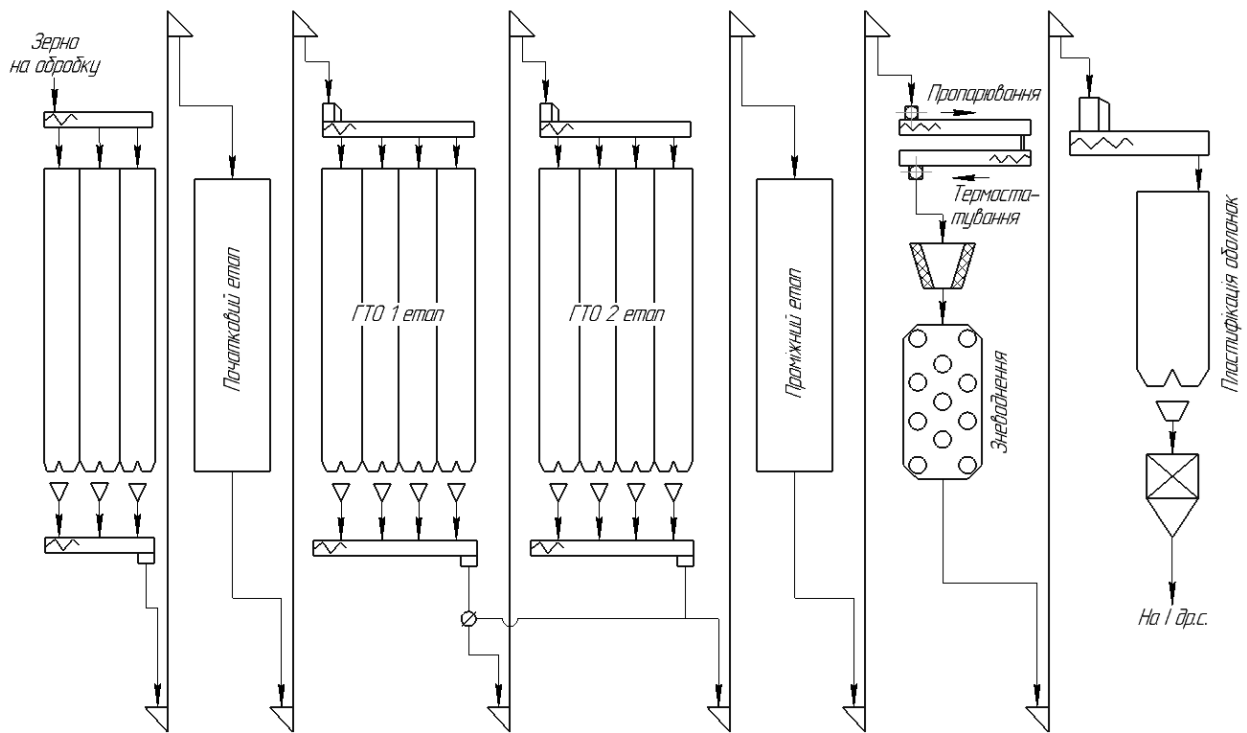


Рисунок 4.1 – Принципова схема підготовки зерна пшениці зі слабкою клейковиною

#### Висновки за розділом

В даному розділі дипломної роботи було розроблено принципову технологічну схему підготовки зерна пшениці до переробки зі слабкою клейковиною. Згідно запропонованої схеми можна збільшити пружність клейковини зерна пшениці з ослабленою клейковиною, а також поліпшити технологічні властивості зерна в цілому.

## 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

### 5.1 Розробка карти безпеки праці

Карта безпеки праці для технологічної операції гідротермічної обробки зерна є важливим документом, який визначає основні правила та заходи щодо забезпечення безпеки працівників. Основні моменти такої карти безпеки приведені на рисунку 5.1.

<b>Карта безпеки праці під час проведення гідротермічної обробки зерна</b>	
1 Загальні положення	Роботи з гідротермічної обробки зерна повинні виконуватися відповідно до інструкцій з охорони праці та безпеки виробництва. До роботи допускаються лише працівники, які пройшли відповідне навчання, інструктаж з охорони праці та мають необхідну кваліфікацію. Перед початком роботи необхідно провести перевірку обладнання та засобів індивідуального захисту (ЗІЗ).
2 Небезпеки під час гідротермічної обробки зерна	Термічні ризики: опіки від гарячої води, пари чи нагрітих елементів обладнання. Механічні травми: затягування кінцівок або одягу в механізми. Хімічні ризики: подразнення шкіри або дихальних шляхів від пилу чи домішок. Електробезпека: ураження електричним струмом через несправне обладнання. Пожежна небезпека: займання пилу або матеріалів у разі перегрівання обладнання.
3 Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ)	Спеціальний одяг із термостійкого матеріалу. Захисні рукавиці для роботи з гарячими поверхнями. Окуляри або щиток для захисту очей від пари та пилу. Респіратори або маски для захисту дихальних шляхів від пилу. Протиковзне взуття для роботи у вологих зонах.
4 Основні вимоги безпеки	1. Перед початком роботи: Перевірити справність обладнання, зокрема парогенераторів, насосів та нагрівальних елементів. Переконатися у відсутності витоків води, пари або інших небезпечних речовин. Підготувати робоче місце, забезпечивши достатнє освітлення та вентиляцію. 2. Під час роботи: Не допускати контакту незахищених ділянок тіла з гарячими поверхнями та паром. Використовувати тільки інструменти та пристрої, передбачені для виконання операцій. У разі виявлення несправностей негайно зупинити роботу та повідомити відповідальну особу. 3. Після завершення роботи: Охолодити обладнання перед чищенням або обслуговуванням. Провести вологе прибирання робочого місця для видалення пилу та залишків зерна. Зняти ЗІЗ та очистити їх від можливих забруднень.
5 Дії у разі аварійної ситуації	Опіки: негайно промити уражену ділянку холодною водою, звернутися до медичного пункту. Пожежа: використовувати вогнегасники (вуглекислотний або порошковий), викликати пожежну службу. Ураження струмом: вимкнути електроживлення, надати першу допомогу потерпілому, викликати медичну допомогу.
6 Відповідальність	Керівник зміни несе відповідальність за забезпечення безпечних умов праці. Працівники зобов'язані дотримуватися вимог інструкції з охорони праці та повідомляти про всі порушення або несправності.
7 Контроль виконання	Регулярне проведення інструктажів та перевірка знань працівників. Огляд обладнання на предмет справності не рідше одного разу на місяць. Ведення журналу реєстрації порушень та інцидентів.

Рисунок 5.1 – Карта безпеки праці під час гідротермічної обробки зерна

## 5.2 Шляхи утилізації відходів на борошномельних підприємствах

Утилізація відходів борошномельного виробництва є важливим аспектом екологічної та економічної стійкості підприємств. Основними напрямками утилізації є:

### 1. Використання в сільському господарстві.

Корм для тварин:

✓ відходи, такі як висівки, використовують як добавку до кормів для великої рогатої худоби, свиней і птиці;

✓ висівки є багатим джерелом клітковини, білків та вітамінів, що підвищує поживну цінність кормів.

Добрива:

✓ органічні відходи (пил, подрібнена оболонка зерна) можуть застосовуватися для виготовлення компосту, що використовується як екологічно чисте добриво.

### 2. Використання в харчовій промисловості.

Добавки до продуктів харчування:

✓ висівки використовують як складову дієтичних продуктів завдяки високому вмісту харчових волокон;

✓ з відходів можуть виготовляти борошняні суміші, низькосортне борошно або інгредієнти для випічки.

### 3. Енергетичне використання.

Біопаливо:

✓ відходи можуть бути сировиною для виробництва твердого біопалива (гранул, брикетів) для опалення;

✓ органічні залишки використовуються в біогазових установках для отримання метану.

### 4. Технологічне перероблення.

Виробництво комбикормів:

✓ комбінування відходів борошномельного виробництва з іншими продуктами аграрного сектора для виготовлення кормових сумішей.

Екстракція корисних компонентів:

✓ виділення білків, клітковини або інших біоактивних речовин для подальшого використання в промисловості.

5. Інші шляхи утилізації.

Будівельна галузь:

✓ дрібнодисперсний пил використовують у виготовленні матеріалів, таких як плити, ізоляційні матеріали тощо.

Целюлозно-паперова промисловість:

✓ відходи переробляють у матеріали для виготовлення упаковки або паперу.

6. Інноваційні підходи.

Виробництво біополімерів:

✓ використання відходів як сировини для створення біопластиків або інших екологічних матеріалів.

Фармацевтична промисловість:

✓ отримання активних компонентів (антиоксидантів, ферментів) для виробництва лікарських засобів чи харчових добавок.

7. Утилізація непридатних залишків.

Сміттєпереробні заводи:

✓ відходи, які не підлягають прямій переробці, направляються на заводи для спалювання з отриманням енергії або сортування.

Захоронення:

✓ використання спеціальних полігонів для екологічно безпечного зберігання відходів, що не піддаються переробці.

Правильна організація утилізації відходів не тільки знижує екологічне навантаження, але й створює додаткові можливості для прибутку підприємства.

## Висновки за розділом

У розробленій частині кваліфікаційного дослідження була розроблена карта безпеки для операторів обладнання для проведення гідротермічної обробки зерна та визначені шляхи утилізації відходів борошномельного виробництва.

## 6 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

### 6.1 Організація проведення дослідження

Організація досліджень включає: складання переліку робіт, визначення їх взаємозв'язку, тривалості і розрахунок кошторису витрат на проведення експерименту.

Перелік робіт, передбачений ходом дослідження з встановлення впливу гідротермічної обробки зерна пшениці на підвищення якісних показників клейковини, наведений у табл. 6.1.

Таблиця 6.1 – План проведення дослідження

Шифр робіт $i-j$	Найменування робіт	Тривалість робіт $t_{ij}$ , днів
1-2	Обґрунтування вибраного напрямку науково-дослідної роботи	1
2-3	Пошук літературних джерел за тематикою досліджень	10
3-4	Написання літературного огляду	8
4-5	Складання алгоритму виконання дослідних робіт	3
5-6	Розробка методик проведення досліджень	5
6-7	Підготовка дослідних зразків зерна пшениці та визначення їх якості	5
7-8	Дослідження вологопоглинаючої здатності зерна пшениці	8
7-9	Дослідження впливу різних способів воднотеплової обробки на зміну якості клейковини	7
7-10	Визначення впливу часу зберігання на якість клейковини	8
7-11	Визначення впливу ступеня зволоження та відволоження на якісний склад проміжних продуктів розмелу	6
8-12	Аналіз та обробка результатів експериментальних дослідження	2
9-12		2
10-12		3
11-12		1
12-13	Підготовка матеріалу до публікації	5
13-14	Формування демонстраційного матеріалу	4
Всього		78

Отже, для виконання всіх завдань та реалізації цілей магістерської роботи знадобиться 78 днів.

## 6.2 Витрати, пов'язані з проведенням дослідження

Витрати на основні та побічні матеріали розраховують за формулою:

$$M = \sum m_1 \cdot C_1, \quad (6.1)$$

де  $m_1$  – кількість витраченого і-го матеріалу;

$C_1$  – ціна одиниці і-го матеріалу, грн.

Результати розрахунку витрат на матеріали наведені в табл. 6.2.

Таблиця 6.2 – Необхідна кількість основних матеріалів та їх вартість

Найменування, одиниці	Кількість	Ціна, грн	Сума, грн
Зерно пшениці, кг	100	9,6	960,0
Всього			960,0

Заробітна плата осіб, які брали участь у дослідженнях, представлена в таблиці 6.3.

Таблиця 6.3 – Розрахунок витрат на заробітну плату

Посада	Середньомісячний заробіток, грн.	Середньочасовий заробіток, грн.	Кількість людино-годин	Сума, грн.
Дипломний керівник	8300	49,41	15	741,15
Всього				741,15

Нарахування на заробітну плату розраховують за формулою:

$$H = \frac{741,15 \cdot 22}{100} = 163,05 \text{ грн.}$$

Витрати на спожиту електроенергію розраховуються за наступною формулою:

$$E = M \cdot K \cdot T \cdot a, \quad (6.2)$$

де  $M$  – потужність встановленого електрообладнання, кВт;

$K$  – коефіцієнт використання потужності ( $K = 0,9$ );

$T$  – час роботи на установці, год;

$a$  – тариф за електроенергію, грн/(кВт/год).

Затрати енергії на сушильну шафу складають:

$$E_1 = 1,2 \cdot 0,9 \cdot 24 \cdot 4,68 = 121,30 \text{ грн.}$$

Затрати енергії на електронні ваги складають:

$$E_2 = 0,006 \cdot 0,9 \cdot 18 \cdot 4,68 = 0,45 \text{ грн.}$$

Затрати енергії на воднотеплову обробку:

$$E_3 = 2,5 \cdot 0,9 \cdot 12 \cdot 4,68 = 126,36 \text{ грн.}$$

Загальні затрати електроенергії складають:

$$E = E_1 + E_2 + E_3 = 121,30 + 0,45 + 126,36 = 248,11 \text{ грн.}$$

Витрати на амортизацію обладнання визначаються за формулою:

$$A = \frac{\Phi \cdot H \cdot t}{100 \cdot 12}, \quad (6.3)$$

де  $A$  – амортизаційні відрахування, грн;

$\Phi$  – вартість устаткування, грн;



$H$  – річна норма амортизації, %;

$t$  – тривалість проведення дослідження на устаткуванні, днів;

12 – кількість місяців у році.

Результати розрахунків витрат на амортизацію наведені в табл. 6.4.

Таблиця 6.4 – Результати розрахунків витрат на амортизацію

Устаткування	Вартість, грн	Річна норма амортизації, %	Тривалість роботи, днів	Витрати на амортизацію, грн
Сушильна шафа	26850,0	24	3	52,96
Електронні ваги	7090,0	24	2	9,32
Установка для водотеплової обробки зерна	17500,0	24	2	23,01
Всього				85,29

Накладні витрати пов'язані з проведенням досліджень складають::

$$\frac{(1088,4 \cdot 80)}{100} = 870,72 \text{ грн.}$$

Кошторис витрат на проведення дослідження наведений в табл. 6.5.

Таблиця 6.5 – Кошторис витрат на проведення дослідження

Витрати	Сума, грн.
Основні матеріали	960,0
Заробітна плата	1088,40
Нарахування на заробітну плату	239,44
Електроенергія	248,11
Амортизація	85,29
Накладні витрати	870,72
Всього	3491,96

Аналіз показав, що на першому місці стоять витрати на заробітну плату і основні витрати.

### 6.3 Розрахунок вартості дослідження

Ціна досліджень визначається за формулою:

$$Ц = C + \frac{P \cdot C}{100}, \quad (6.4)$$

де  $Ц$  – вартість дослідження, грн;

$C$  – витрати на дослідження, грн;

$P$  – нормативна рентабельність ( $P = 30$ ), %.

$$Ц = 3491,96 + \frac{30 \cdot 3491,96}{100} = 4539,55 \text{ грн.}$$

Витрати на проведені дослідження становлять 4539,55 грн.

#### Висновки за розділом

Основні статті витрат під час дослідження включають витрати на заробітну плату і основні витрати, які становлять 1088,40 грн і 960,0 грн відповідно. Загальна вартість дослідження з урахуванням 30 % нормативної рентабельності складає 4539,55 грн.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Зроблено оцінку якості товарних партій зерна пшениці вирощеного в різних районах Дніпропетровської області та встановлено, що технологічна і екологічна якість зерна пшениці безпосередньо залежить від природних умов, рівня агротехніки та від промислової діяльності людини.

Досліджено ступінь впливу різних методів гідротермічної обробки зерна на якість клейковини та встановлено, що теплова обробка зерна пшениці з низькою початковою вологістю сухим теплом або пропарюванням не призводить до значних змін якості клейковини. При тепловій обробці зерна пшениці зі слабкою клейковиною найбільш інтенсивно процес зміцнення клейковини відбувається з попередньо зволуженим зерном.

Розроблено ефективний метод гідротермічної обробки зерна пшениці зі слабкою клейковиною. Суть його полягає в наступному: зерно після попереднього очищення від домішок, зволожують на величину, яку розраховують, виходячи з різниці між оптимальним значенням вологості зерна для переробки та початковою вологістю зерна. Зволоження здійснюють в процесі мийки, при якій волога поглинається всією поверхнею зерна. Після зволоження зерно відволожують протягом 60 – 80 хвилин. Оптимальну вологість і час зволоження приймають з урахуванням типу і скловидності зерна. Оброблене таким чином зерно, пропарюють вологою насиченою парою і термостатують протягом 10 – 20 хвилин в теплоізоляційному бункері.

Визначено якість зерна пшениці і продуктів його переробки за технологічними параметрами після проведення процесу ГТО, в результаті чого можемо стверджувати, що тріщинуватість найбільш інтенсивно збільшується при вологості 15 – 17 %, а скловидність змінюється в зоні зміни вологості від 14 до 15 %, тобто скловидність зі збільшенням вологості спочатку знижується, а потім частково відновлюється.

Встановлено, що аналогічні зміни скловидності і тріщинуватості відбуваються і при зміні часу зволоження. Тріщинуватість інтенсивно

збільшується при збільшенні часу зволоження з 12 до 20 годин, а скловидність розвивається за такою ж залежністю з точкою екстремуму від 6 до 10 годин, при подальшому збільшенні часу зволоження спостерігається часткове відновлення скловидності.

Розроблена карта безпеки для операторів обладнання для проведення гідротермічної обробки зерна та визначені шляхи утилізації відходів борошномельного виробництва.

Основні статті витрат під час дослідження включають витрати на заробітну плату і основні витрати, які становлять 1088,40 грн і 960,0 грн відповідно. Загальна вартість дослідження з урахуванням 30 % нормативної рентабельності складає 4539,55 грн.

## БІБЛІОГРАФІЯ

1. Півоваров О.А., Ковальова О.С., Кошулько В.С. Інноваційний інжиніринг в окремих галузях харчового виробництва. Дніпро: ФОП Обдимко О.С., 2022. 407 с.
2. Бабич, М. Б., & Петров, В. М. (2009). Особливості гідротермічної обробки круп'яного зерна. Наукові праці [Одеської національної академії харчових технологій], (36 (1)), 260-263.
3. Анісімова, Л. (2013). Гідротермічна обробка зерна поліпшує якість ячмінного помелу. Зерно і хліб, (4), 80-81.
4. Федорина, Т. П., Ікальчик, М. І., & Вербовський, М. С. (2023). Дослідження обладнання для гідротермічної обробки зерна (Doctoral dissertation, ВП НУБіП України" Ніжинський агротехнічний інститут").
5. Березовська, К. М. (2023). Обґрунтування процесів сухої очистки та гідротермічної обробки зерна в круп'яному виробництві.
6. Храмов Микита Сергійович, М. С., & Лимар, О. О. (2024). Дослідження впливу гідротермічної обробки на технологічні властивості зерна.
7. Буланій, О. (2024). Удосконалення та ІТ-сервіс процесу гідротермічної обробки зерна (Doctoral dissertation, ОНТУ, кафедра технологічного обладнання зернових виробництв).
8. Радченко, М. В., & Дутченко, З. Я. (2013). Вплив гідротермічної обробки зерна гречки на вихід та якість крупи. Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Агрономія і біологія, (11), 128-130.
9. Ковальова О.С., Кошулько В.С. Інноваційна технологія дезінфекції технологічного обладнання харчових виробництв. The 5th International scientific and practical conference “Prospects of modern science and education” (February 07 – 10, 2023) Stockholm, Sweden. International Science Group. 2023. P. 609-612. <https://doi.org/10.46299/ISG.2023.1.5>

10. Kovaliova O, Pivovarov O, Vasylieva N, Koshulko V. Obtaining of rice malt with the use of plasma-chemically activated aqueous solutions. Food science and technology.2022;16(4):64-76. <https://doi.org/10.15673/fst.v16i4.2542>
11. Kovalova O., Pivovarov O., & Koshulko, V. Effect of plasma-chemically activated aqueous solutions on the process of disinfection of food production equipment. Food Science and Technology. 2022. 16 (3). P. 61-70. DOI: <https://doi.org/10.15673/fst.v16i3.2392>
12. Pivovarov O., Kovalova O., Koshulko V., Aleksandrova A. Study of use of antiseptic ice of plasma-chemically activated aqueous solutions for the storage of food raw materials. Food science and technology. 2021. Vol. 15, Issue 4. P. 95-105. DOI: <https://doi.org/10.15673/fst.v15i4.2260>
13. Pivovarov O., Kovaliova O., Koshulko V. Effect of plasmochemically activated aqueous solution on process of food sprouts production. Ukrainian Food Journal. 2020. Volume 9. Issue 3. P. 575-587. DOI: <https://doi.org/10.24263/2304-974X-2020-9-3-7>
14. Kovaliova O., Pivovarov O., Koshulko V. Study of hydrothermal treatment of dried malt with plasmochemically activated aqueous solutions. Food science and technology. 2020. Vol. 14, Issue 3. P. 113-121 DOI: <https://doi.org/10.15673/fst.v14i3.1799>
15. Kovaliova, O., Tchoursinov, Y., Kalyna, V., Koshulko, V., Kunitsia, E., Chernukha, A., Bezuglov, O., Bogatov, O., Polkovnychenko, D., & Grigorenko, N. (2020). Identification of patterns in the production of a biologically-active component for food products. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2(11 (104), 61–68. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.200026>
16. Zielinski, H., Kozłowska, H., & Lewczuk, B. (2001). Bioactive compounds in the cereal grains before and after hydrothermal processing. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2(3), 159-169. [https://doi.org/10.1016/S1466-8564\(01\)00040-6](https://doi.org/10.1016/S1466-8564(01)00040-6)
17. Kulyk, M. I., Rozhkov, A. O., Kalinichenko, O. V., Taranenko, A. O., & Onopriienko, O. V. (2020). Effect of winter wheat variety, hydrothermal coefficient

(HTC) and thousand kernel weight (TKW) on protein content, grain and protein yield.  
<https://doi.org/10.15159/AR.20.187>

18. Torbica, A., Belović, M., Popović, L., & Čakarević, J. (2021). Heat and hydrothermal treatments of non-wheat flours. *Food Chemistry*, 334, 127523.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127523>

19. Maryin, V. A., Blaznov, A. N., Ermakov, R. B., & Pavlov, I. N. (2017). The effect of hydrothermal treatment of wheat grain on its physico-chemical composition. *South-Siberian Scientific Bulletin*, 4(20), 163.

20. Ruiz, H. A., Ruzene, D. S., Silva, D. P., Quintas, M. A., Vicente, A. A., & Teixeira, J. A. (2011). Evaluation of a hydrothermal process for pretreatment of wheat straw—effect of particle size and process conditions. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 86(1), 88-94. <https://doi.org/10.1002/jctb.2518>

21. Liubych, V., Novikov, V., Zheliezna, V., Prykhodko, V., Petrenko, V., Khomenko, S., ... & Moskalets, T. (2020). Improving the process of hydrothermal treatment and dehulling of different triticale grain fractions in the production of groats. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*, 3(11-105), 55-65.

22. Matin, A., Grubor, M., Ostroški, N., Jurišić, V., Bilandžija, N., Kontek, M., ... & Krička, T. (2021). Effect of Hydrothermal Treatment on the Improvement of Wheat and Triticale Grain Properties. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 86(3), 243-250.

23. Pivovarov O., Kovaliova O. Features of grain germination with the use of aqueous solutions of fruit acids. *Food Science and Technology*. 2019. Volume 13 Issue 1. P.83-89. DOI: <http://dx.doi.org/10.15673/fst.v13i1.1334>

24. Liubych, V., Novikov, V., Polianetska, I., Usyk, S., Petrenko, V., Khomenko, S., ... & Moskalets, T. (2019). Improvement of the process of hydrothermal treatment and peeling of spelt wheat grain during cereal production. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*, (3 (11)), 40-51.

25. Paulikienė, S., & Žvirdauskienė, R. (2023). Evaluation of hydrothermal treatment of winter wheat grain with ozonated water. *Plants*, 12(18), 3267.  
<https://doi.org/10.3390/plants12183267>

26. Pivovarov O.A., Kovaleva O.S., Chursinov J.O. Prevention of biofouling of industrial reverse water supply systems by plasma water treatment // 3 nd International Scientific and Technical Internet Conference “Innovative development of resource-saving technologies and sustainable use of natural resources”. Book of Abstracts. - Petroșani, Romania: UNIVERSITAS Publishing, 2020. P. 50-52.
27. Abhilasha, A., Kaur, L., Monro, J., Hardacre, A., & Singh, J. (2022). Effects of hydrothermal treatment and low-temperature storage of whole wheat grains on in vitro starch hydrolysis and flour properties. *Food Chemistry*, 395, 133516. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133516>
28. Kovalova O.S., Chursinov Yu.O., Kofan D.D. Research of hydrothermal processing of dry barley malt. *Grain Products and Mixed Fodder's*. 2018. Vol.18, Issue 4. P.13-18. <https://doi.org/10.15673/gpmf.v18i4.1190>
29. Kovalova, O., Vasylieva, N., Haliasnyi, I., Gavrish, T., Dikhtyar, A., Andrieieva, S., Gontar, T., Osmanova, O., Omelchenko, S., & Ashtaiev, O. (2024). Development of technology for the production of all-purpose buckwheat malt using plasmochemically activated aqueous solutions. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1(11 (127)), 38–51. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.298797>
30. Kovalova, O., Vasylieva, N., Haliasnyi, I., Gavrish, T., Dikhtyar, A., Andrieieva, S., Didukh, N., Balandina, I., Obolentseva, L., Hireenko, N. (2023). Development of buckwheat groats production technology using plasma-chemically activated aqueous solutions. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (11 (126)), 59–72. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.290584>
31. Півоваров О.А., Ковальова О.С. Сучасні методи інтенсифікації солодородження: монографія. Дніпро: ДВНЗ УДХТУ, 2020. 242 с.
32. Saparovich, R. S., Erievna, R. V., Sanokulovich, R. K., & Temirovich, P. Z. (2021). Influence of the Use of Activated Water during Hydrothermal Treatment on the Quality of Bread. *Annals of the Romanian Society for Cell Biology*, 4091-4102.
33. Siminiuc, R., & TURCANU, D. (2020). The impact of hydrothermal treatments on technological properties of whole grains and soriz (*Sorghum oryzoidum*) groats. *Food and Nutrition Sciences*. <https://doi.org/10.4236/fns.2020.1110067>



34. Rocha-Villarreal, V., Hoffmann, J. F., Vanier, N. L., Serna-Saldivar, S. O., & García-Lara, S. (2018). Hydrothermal treatment of maize: Changes in physical, chemical, and functional properties. *Food chemistry*, 263, 225-231. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.05.003>
35. Lemmens, E., De Brier, N., Spiers, K. M., Ryan, C., Garrevoet, J., Falkenberg, G., ... & Delcour, J. A. (2018). The impact of steeping, germination and hydrothermal processing of wheat (*Triticum aestivum* L.) grains on phytate hydrolysis and the distribution, speciation and bio-accessibility of iron and zinc elements. *Food chemistry*, 264, 367-376. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.04.125>
36. Majzoobi, M., Pashangeh, S., Farahnaky, A., Eskandari, M. H., & Jamalian, J. (2014). Effect of particle size reduction, hydrothermal and fermentation treatments on phytic acid content and some physicochemical properties of wheat bran. *Journal of food science and technology*, 51, 2755-2761.
37. Ciccoritti, R., Terracciano, G., Cammerata, A., Sgrulletta, D., Del Frate, V., Gazza, L., & Nocente, F. (2018). Hydrothermal grain pre-processing and ultra-fine milling for the production of durum wheat flour fractions with high nutritional value. *Food Science and Technology International*, 24(3), 242-250.
38. Ovando-Martínez, M., Whitney, K., Reuhs, B. L., Doehlert, D. C., & Simsek, S. (2013). Effect of hydrothermal treatment on physicochemical and digestibility properties of oat starch. *Food Research International*, 52(1), 17-25.
39. Rocha-Villarreal, V., Serna-Saldivar, S. O., & García-Lara, S. (2018). Effects of parboiling and other hydrothermal treatments on the physical, functional, and nutritional properties of rice and other cereals. *Cereal Chemistry*, 95(1), 79-91. <https://doi.org/10.1002/cche.10010>
40. Karanam, M., Theertha, D. P., Kumar, A., Inamdar, A. A., & Sakhare, S. D. (2020). Effect of hydrothermal treatment on physical and semolina milling properties of barley. *Journal of Food Engineering*, 287, 110142. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110142>
41. Lee, Y. Y., Ma, F., Byars, J. A., Felker, F. C., Liu, S., Mosier, N. S., ... & Baik, B. K. (2021). Influences of hydrothermal and pressure treatments on

compositional and hydration properties of wheat bran and dough mixing properties of whole wheat meal. *Cereal Chemistry*, 98(3), 673-682.

42. Сайт фірми «Arrow Corp». Електронний ресурс. – URL: <https://www.arrowcorp.com/kipp-kelly-gravity-separators/>

43. Сайт фірми «Cimbria». Електронний ресурс. – URL: <https://www.cimbria.com/ru/products/processing/screen-cleaner.html>

44. Сайт фірми «PETKUS». Електронний ресурс. – URL: <http://www.petkus.com/products/-/info/sorting/cleaners/a-cleaner>

45. Сайт фірми «Satake». Електронний ресурс. – URL: <https://satake-group.com/news/new-release/140122.html>

46. ДСТУ 4161-2003. Системи управління безпечністю харчових продуктів. Вимоги.

47. Маковецька Ю. Сучасне керування відходами відповідно до принципів циркулярної економіки. Посібник курсу ZWA deep level, 2021. 140 с. Режим доступу: <https://zerowastekharkiv.org.ua/wp-content/uploads/2021/12/posybnic-lekciye-book-5.pdf>.

48. Тертишний О.О., Півоваров О.А., Кошулько В.С. Механічні процеси та обладнання харчових виробництв. Навчальний посібник. Дніпро: ДДАЕУ, 2022. 351 с.

49. Передумови формування якості зерна пшениць і продуктів його перероблення : моногр. / Г.М. Господаренко та ін.; Київ, 2019. 336 с.

50. Nykyforov, A., Antoshchenkov, R., Halych, I., Kis, V., Polyansky, P., Koshulko, V., Tymchak, D., Dombrovska, A., Kilimnik, I. (2022). Construction of a regression model for assessing the efficiency of separation of lightweight seeds on vibratory machines involving measures to reduce the harmful influence of the aerodynamic factor. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (1 (116)), 24–34. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.253657> (Scopus).

51. Жемела Г.П., Бараболя О.В. Технологія борошномельного та круп'яного виробництва: навчальний посібник для студентів вищих агротехнологічних навчальних закладів. Полтава, 2011. 292 с.

52. Мерко І.Т. Технології мукомельного і круп'яного виробництва [Текст]: підручник для студентів вищих навчальних закладів. Вид. 2-ге, перероб. та допов. Одеса: Друк. дім, 2010. 472 с.

53. Мерко І.Т., Моргун В.О. Наукові основи і технологія переробки зерна: підручник для студентів вищих навчальних закладів. Одеса: Друк, 2001. 348с.

54. Чурсінов Ю.О., Хозяєв І.О., Черних С.А., Лакіза О.В. Інноваційні технології виробництва борошна, круп та харчоконцентратів: навчальний посібник. Дніпропетровськ: ДДАУ, 2011. 126 с.

55. Використання мікрохвильової вакуумної обробки в процесах виробництва овочевих концентратів. Монографія / О.І. Черевко, В.М. Михайлов, В.О. Потапов та ін. Харків: ХДУХТ. 2014. 116 с.

56. Землеробська механіка. Інноваційні технології харчових виробництв / А.С. Кобець, С.П. Сокол, А.М. Пугач, Ю.О. Чурсінов, О.А. Півоваров, С.Ю. Миколенко, О.С. Ковальова, В.С. Калина, В.С. Кошулько, Д.О. Тимчак, Н.А. Сова, К.А. Худайбердієва. Дніпро: «Свідлер А.Л.». 2022. Том 4. 460 с. (наукова монографія, ISBN 978-617-627-174-1).

57. Півоваров О.А., Ковальова О.С., Кошулько В.С. Інноваційний інжиніринг в окремих галузях харчового виробництва / О.А. Півоваров, О.С. Ковальова, В.С. Кошулько. Дніпро: ФОП Обдимко О.С., 2022. 407 с.

58. Тертишний О.О., Півоваров О.А., Кошулько В.С. Теплові процеси та обладнання в харчових виробництвах. Навчальний посібник, 2023. 360 с.