

**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 кваліфікаційної роботи
ступеня вищої освіти «Магістр»
на тему:

Обґрунтування процесу мікронізації бобів сої

Виконав: здобувач вищої освіти 2 курсу,
групи МгХТ-2-22
освітньо-професійної програми «Харчові технології»
зі спеціальності 181 «Харчові технології»

_____ Богдан МУРАДЯН

Керівник: _____ Юрій ЧУРСІНОВ

Рецензент: _____

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри
харчових технологій,
кандидат технічних наук, доцент
Віталій КОШУЛЬКО

(підпис)

«09» листопада 2023 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧЕВІ ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Мурадянн Богдану Володимировичу

1. Тема роботи: «Обґрунтування процесу мікронізації бобів сої».
Керівник роботи: Чурсінов Юрій Олександрович, доктор технічних наук, професор, затверджені наказом закладу вищої освіти від «09» листопада 2023 року № 3423.
2. Строк подання здобувачем вищої освіти роботи 08 грудня 2023 року
3. Вихідні дані до роботи: 1. Літературні джерела та періодичні видання. 2. Наукова та науково-технічна документація, що стосується питань теплової обробки зерна та насіння з метою покращення їх показників якості при виробництві харчових продуктів. 3. Нормативно-технологічна документація. 4. Патентна документація.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити). Вступ. 1 Огляд літератури. 2 Матеріали і методи досліджень. 3 Дослідна частина. 4 Практичне впровадження отриманих результатів. 5 Охорона праці та захист навколишнього середовища. 6 Організаційно-економічна частина. Загальні висновки. Бібліографія.

5. Перелік демонстраційного матеріалу

1 Огляд літератури. 2. Мета та задачі досліджень. 3. Матеріали і методи досліджень. 4 Дослідна частина. 5 Практичне впровадження отриманих результатів. 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 | професор ЧУРСІНОВ Юрій | 09.11.2023 | 08.12.2023 |
| 5 | професор ЧУРСІНОВ Юрій | 09.11.2023 | 08.12.2023 |
| 6 | професор ЧУРСІНОВ Юрій | 09.11.2023 | 08.12.2023 |

7. Дата видачі завдання 09 листопада 2023 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів кваліфікаційної роботи | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|---|-------------------------------|----------|
| 1 | Вступ | 09.11-10.11.23 | виконано |
| 2 | Огляд літератури | 13.11-15.11.23 | виконано |
| 3 | Матеріали і методи досліджень | 16.11-17.11.23 | виконано |
| 4 | Дослідна частина | 20.11-22.11.23 | виконано |
| 5 | Практичне впровадження отриманих результатів | 23.11-28.11.23 | виконано |
| 6 | Охорона праці та захист навколишнього середовища | 29.11-30.11.23 | виконано |
| 7 | Організаційно-економічна частина | 01.12-04.12.23 | виконано |
| 8 | Загальні висновки та бібліографія | 05.12-06.12.23 | виконано |
| 9 | Розробка та підготовка демонстраційного матеріалу | 07.12.2023 | виконано |

Здобувач вищої освіти _____ Богдан МУРАДЯН
(підпис)

Керівник роботи _____ Юрій ЧУРСІНОВ
(підпис)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи складається з 79 сторінок тексту, включає 17 рисунків та ілюстрацій, 19 таблиць та використовує 44 літературних джерел у вказаних посиланнях.

Мета цього дослідження полягає в створенні нового методу обробки соєвих бобів, використовуючи інфрачервоний енергопідвод. Цей метод призначений для отримання продуктів, які відповідають високим стандартам фізико-хімічних і функціонально-технологічних властивостей, придатних для використання в харчовій і комбікормовій промисловості.

Об'єктом цього дослідження є технологічний процес обробки соєвих бобів за допомогою установки, яка використовує інфрачервоне опромінення.

Предметом цього дослідження є взаємозв'язок між технологічними параметрами процесу обробки соєвих бобів інфрачервоними променями та якісними характеристиками отриманого кінцевого продукту.

Попри високий харчовий потенціал соєвих бобів, їх використання для харчових і кормових цілей вимагає специфічного технологічного підходу. Це обумовлено тим, що насіння сої, на відміну від інших олійних насінь, містять ряд природних антипоживних речовин.

Наявність антипоживних речовин у соєвих бобах призводить до зменшення їх харчової цінності, впливає на харчову та кормову ефективність, і може викликати такі негативні явища, як пригнічення зростання, зниження приросту тварин, гіпертрофію підшлункової залози, або зміни та ураження слизової оболонки, алергічні реакції.

Ключові слова: СОЯ, ТЕМПЕРАТУРА, ВОЛОГІСТЬ, ТРИВАЛІСТЬ, ДОСЛІД, ТЕМПЕРУВАННЯ, ІЧ-ОБРОБКА, ЗВОЛОЖЕННЯ, ХАРЧОВА ЦІННІСТЬ.

ЗМІСТ

| | |
|--|----|
| ВСТУП | 7 |
| 1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД | 10 |
| 1.1 Використання соєвих бобів у галузі харчової промисловості | 10 |
| 1.2 Характеристика біологічних особливостей бобів сої | 19 |
| 1.3 Методи зменшення активності антипоживних речовин у соєвих бобах | 21 |
| 1.3.1 ІЧ-обробка сировини | 23 |
| Висновки за розділом | 25 |
| 2 МЕТОДИ і МАТЕРІАЛИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕННЯ | 27 |
| 2.1 Матеріали використані під час проведення досліджень | 27 |
| 2.2 Методи використані під час експериментальних дослідження | 28 |
| 2.2.1 Фізичні показники зерна | 28 |
| 2.2.2 Визначення біохімічних показників зерна | 28 |
| 2.2.3 Аналітичні методи дослідження мікробіологічного стану зерна | 29 |
| 2.3 Дослідницьке обладнання | 29 |
| 2.3.1 Лабораторний експериментальний стенд для дослідження процесів інфрачервоної обробки зерна | 29 |
| 2.3.2 Установа для термічної обробки зернової сировини | 31 |
| Висновки за розділом | 32 |
| 3 ДОСЛІДНА ЧАСТИНА | 33 |
| 3.1 Дослідження процесу мікронізації соєвих бобів та розробка пропозицій щодо вдосконалення обладнання для його реалізації | 33 |
| 3.2 Кінетика нагрівання соєвих бобів при нанесенні поверхневої вологи | 42 |
| 3.3 Підбір критеріїв для оцінки якості соєвих бобів під час проведення ІЧ-обробки | 45 |
| 3.3.1 Вплив режиму термообробки на активність уреаз | 46 |
| 3.3.2 Вплив режиму термообробки на білкові комплекси в соєвих бобах | 48 |
| 3.3.3 Вплив обробки соєвих бобів інфрачервоним випромінюванням на структуру ліпідного комплексу сої | 51 |

| | |
|--|----|
| 3.3.4 Вплив параметрів інфрачервоної обробки соєвих бобів на мікробіологічні показники зерна | 55 |
| 3.4 Способи використання термооброблених соєвих бобів | 58 |
| Висновки за розділом | 59 |
| 4 ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ | 61 |
| 4.1 Розробка апаратно-технологічної схеми виготовлення продуктів з соєвих бобів, підданих ІЧ-обробці | 61 |
| 4.2 Показники якості та функціональні характеристики термічно обробленої сої | 63 |
| Висновки за розділом | 64 |
| 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА | 65 |
| 5.1 Розробка карти з безпеки праці | 65 |
| 5.2 Утилізація відходів виробництва | 66 |
| Висновки за розділом | 66 |
| 6 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА | 67 |
| 6.1 Організація проведення дослідження | 67 |
| 6.2 Витрати на проведення дослідження | 68 |
| 6.3 Розрахунок вартості дослідження | 71 |
| Висновки за розділом | 72 |
| ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ | 74 |
| БІБЛІОГРАФІЯ | 75 |

ВСТУП

Проблема забезпечення населення достатньою кількістю тваринного білка актуальна у всьому світі, включаючи Україну. Однією з альтернатив є розробка продуктів, що містять велику кількість білка із використанням рослинної сировини. Останнім часом соя отримала визнання як перспективний сировинний ресурс для цього напрямку.

Протеїновий вміст у соєвих бобах становить від 38 % до 45 %, що вдвічі перевищує його кількість у м'ясі яловичини та більш ніж чим у чотири рази більше його кількості в ковбасних виробках. Білок у соєвих бобах містить всі незамінні амінокислоти та високий вміст таких цінних білків, як метіонін, цистин та лізин. Ці компоненти білка в сої подібні за складом до тих, які містяться в м'ясних продуктах. Також, соєві боби містять досить велику кількість вітамінів (біотин, Е, В₁, В₂, В₆,, ніацин, пантотенова кислота, фолієва кислота, холін) і клітковину, що робить їх особливо цінними для створення продуктів, спрямованих на забезпечення здоров'я та профілактику захворювань у людей.

Жирність у сої висока і становить приблизно 18–23%, що еквівалентно рівню жирів у тваринних продуктах. Однак важливою особливістю є те, що жир в сої є значно ціннішим, оскільки включає ненасичені жирні кислоти, велику кількість йоду та сполуки, які сприяють розчиненню холестерину в крові людини.

Хоча соєві боби мають значний харчовий потенціал, їх використання в харчовій та кормовій сферах вимагає специфічного технологічного підходу у зв'язку з наявністю природних антипоживних речовин у насінні. Серед них варто виокремити інгібітори протеаз, гемаглютеніни (лектини, сапоніни) та речовини, які можуть спричиняти алергічні реакції, ендокринні прояви та рахітні зміни.

Наявність антипоживних речовин у сої негативно впливає на її харчову та кормову цінність, може впливати на ефективність споживання та збільшувати ризик різних проблем, таких як зупинка росту, низький приріст, збільшення підшлункової залози, алергія.

Звичайні техніки зменшення кількості антипоживних речовин передбачають тривалу високотемпературну обробку соєвих бобів, що перед цим були піддані зволоженню та подрібненню, або боби були зварені цілими.

Ці методи мають значущі недоліки, починаючи з використання парового обладнання, що призводить до значних енерговитрат і високих вимог до безпеки виробництва. Крім того, ці процеси тривалі, що впливає на продуктивність переробних підприємств та призводить до зменшення поживної цінності готового продукту.

Без додатково зволоження вихідної сировини, її обробка не буде забезпечувати потрібних змін у її складі. Зокрема, цей підхід не дозволяє досягти необхідного рівня зниження вмісту антипоживних речовин у соєвих бобах.

Враховуючи вищевикладене, дослідження, спрямоване на розробку логічних технічних рішень, які обґрунтовані методом інфрачервоної обробки сої з метою отримання продукту високої біологічної цінності та з припустимо низьким вмістом антипоживних речовин, безперечно, залишається актуальним та перспективним.

Основною метою цієї роботи є розробка нового методу обробки соєвих бобів, використовуючи інфрачервоний енергопідвод, для отримання харчових та комбікормових продуктів, які відповідають високими фізико-хімічним та функціонально-технологічним характеристикам.

Згідно з визначеною метою, були поставлені конкретні завдання:

- провести експериментальне дослідження динаміки нагрівання соєвих бобів при впливі інфрачервоного випромінювання та визначити поверхневу температуру під час нагрівання та середню температуру;
- обґрунтувати часовий проміжок, необхідний для проведення інфрачервоної обробки соєвих бобів;
- встановити найбільш ефективні параметри технологічних етапів, таких як зволоження поверхні перед інфрачервоною обробкою та наступна термічна обробка;

- дослідити вплив температурних режимів обробки на збереження інгібіторів трипсину, білкових та ліпідних комплексів у соєвих бобах, а також їхню мікробіологічну чистоту;
- створити схему апаратурно-технологічного процесу для виготовлення продуктів із соєвих бобів після термічної обробки та здійснити практичну реалізацію отриманих результатів;
- виконати розрахунок фінансового плану витрат для здійснення дослідження.

Об'єктом дослідження є технологічний процес обробки соєвих бобів за допомогою установки інфрачервоного опромінення.

Предметом дослідження є взаємозв'язок між технологічними параметрами процесу обробки соєвих бобів інфрачервоними променями та якісними характеристиками отриманого кінцевого продукту.

1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

1.1 Використання соєвих бобів у галузі харчової промисловості

Боби сої, як культура, що використовується як продовольча, технічна та кормова, визначаються своєю універсальністю застосуванням (табл. 1.1). Цікаво зауважити, що від одного гектара пасовища, на якому годують м'ясну худобу, можна отримати достатньо харчового білка для прокормлення однієї людини протягом 731 дня. При цьому той самий гектар, насаджений пшеницею, забезпечує достатню кількість білка для прогодування людини протягом 1572 днів. З іншого боку, з соєвих бобів, вирощених на 1 га землі, можна отримати таку кількість харчового білка, якої було б достатньо для прокормлення однієї людини протягом 5099 днів [37].

Соеві білки мають широкий спектр застосувань, оскільки вони проявляють необхідні функціональні властивості у комбінованих продуктах, при цьому їхня вартість значно нижча, ніж у випадку альтернативних добавок тваринного походження (сухе молоко, казеїн, яєчні жовтки, білки, желатин).

На сьогоднішній день, широкий асортимент сої виробляється та успішно використовується по всьому світу в різноманітних галузях харчової промисловості, зокрема: хлібопекарській, кондитерській, молочній, макаронній, фармацевтичній, м'ясопереробній тощо[41].

Таблиця 1.1 – Хімічний склад сої та інших харчових продуктів, середньозважений

| Показник | Боби сої | Квасоля | Сир кисломолочний | Яловичина | Яйце куряче | Добова потреба |
|-----------------------------------|----------|---------|-------------------|-----------|-------------|----------------|
| Білок, % | 35,0 | 20,9 | 18,1 | 20,01 | 12,6 | 70 – 100 |
| Амінокислоти, % | 34,4 | 20,6 | 18,0 | 20,0 | 12,9 | |
| незамінні | 12,7 | 8,0 | 7,7 | 7,8 | 5,3 | |
| замінні | 21,7 | 12,6 | 10,3 | 12,3 | 7,4. | |
| Жири, % | 17,4 | 2,1 | 0,7 | 9,9 | 11,6 | 90 – 100 |
| Вітаміни, мг на 100 г продукту: | | | | | | |
| Е | 17,2 | 3,9 | - | - | 1,9 | 13 – 16 |
| В ₆ | 1,0 | 1,1 | 0,3 | 0,5 | 0,2 | 1,7 – 2,1 |
| РР | 2,1 | 2,2 | 0,6 | 5,1 | 0,3 | 10 – 20 |
| В ₂ | 0,3 | 0,3 | 0,4 | 0,3 | 0,5 | 1,5 – 3 |
| В ₁ | 0,8 | 0,6 | 0,05 | 0,08 | 0,08 | 1,0 – 3,0 |
| В ₉ | 0,3 | 0,2 | 0,03 | 0,02 | 0,009 | 0,5 |
| Мінеральні речовини, мг на 100 г: | | | | | | |
| Калій | 1609 | 1120 | 118 | 354 | 142 | 2000 – 5500 |
| Кальцій | 350 | 14 | 130 | 12 | 60 | 700 – 1200 |
| Магній | 230 | 105 | 25 | 26 | 13 | 400 – 600 |
| Фосфор | 610 | 479 | 190 | 210 | 193 | 800 – 1400 |
| Залізо | 16 | 6 | 0,15 | 3 | 2,6 | 10 – 20 |
| Кобальт | 0,04 | 0,03 | 0,003 | 0,008 | 0,00 | 0,15 – 0,25 |
| Марганець | 2,9 | 1,4 | 0,009 | 0,04 | 0,04 | 5 – 10 |
| Мідь | 0,4 | 0,6 | 0,07 | 0,3 | 0,09 | 3 |
| Фтор | 0,15 | 0,05 | - | 0,07 | 0,06 | 0,4 – 1,1 |

В хлібопекарській галузі основною складовою є соєва олія і соєве борошно. Тісто, що включає соєве борошно, має більш однорідну консистенцію, що призводить до отримання готових виробів з покращеною текстурою і формою. Застосування соєвого борошна в рецептурах для хліба покращує його смакові якості, значно збільшує термін зберігання та відбілює пшеничне борошно [41]. Крім того, воно зменшує поглиблення жиру під час смаження.

Цей процес призводить до отримання пончиків вищої якості, і їх виробництво стає більш вигідним завдяки економії на олії. Використання соєвого борошна покращує харчові властивості макаронів. З додаванням соєвого борошна можна виготовити макарони з м'яких сортів пшениці. Покращені соєвим білком макаронні вироби можуть містити в собі від 15 до 17 % білка [5].

Білки, отримані з сої, широко використовуються для створення сумішей для каш і є ключовими компонентами у виготовленні пресованих брикетів для сніданків.

У кондитерській промисловості соєва крупа, борошно зрізним ступенем жирності, соєвий концентрат та ізолят вже давно мають велику популярність. Соєве борошно використовують як повно жирне, так і знежирене, для приготування кондитерських мас з метою розширення асортименту. Ці інгредієнти замінюють традиційні сировини, такі як згущене або сухе молоко, горіхоплідну сировину [5].

Із знежиреного соєвого борошна можна отримати альтернативу яєчному білку, а обсмажені соєві боби використовуються у заміниках кави. У цукерках, таких як карамель і ірис, які містять соєве борошно, спостерігається затримка процесу дегідратації, що призводить до скорочення випадання кристалів цукру. Лецитин, який є побічним продуктом виробництва рослинної олії, використовується у виготовленні шоколаду, для надання йому дієтичних та лікувальних властивостей [7].

З метою зниження витрат на виробництво, зменшення проявів алергічних реакцій, підвищення харчової цінності та поліпшення функціональних характеристик було створено ряд аналогів молочних продуктів на основі соєвих білків. Ці продукти включають в себе альтернативи молока, сиру, морозива, вершків для кави, коктейлів, напоїв, мусів і кремів [5]. Ізоляти є найкращими компонентами для виготовлення аналогів молочних продуктів, оскільки вони у формі дрібних частинок, містять велику кількість білка і є нейтральними на смак. Соєві замітники молока не містять лактози (молочного цукру) [4].

Додавання соєвого білку в м'ясні продукти надає їм привабливий зовнішній вигляд, кращу текстуру і покращує смак. З економічної точки зору, виробництво цих продуктів ефективніше, а кінцевий результат відрізняється більшою соковитістю, вищим вмістом білка і меншим вмістом жиру, що робить його більш збалансованим з точки зору поживності.

Текстурований соєвий продукт у формі хлібоподібних пластівців забезпечує швидку гідратацію, роблячи його зручним для використання у виробництві. Навіть під час консервування, заморожування та розморожування смакові характеристики зберігаються [35].

Для виготовлення котлет, тефтелів, біфштексів та начинок для піци використовують текстуровані соєві білки [23]. Для виробництва глютамату натрію (застосовується в консервах, концентратах супів і бульйонів, продуктах швидкого приготування та сумішах спецій для підсилення смаку) використовують соєву макуху і шрот[41]. Також, соєвий шрот використовується для отримання гідролізату рослинного білка, який використовують для надання продуктам м'ясного або грибного смаку [20].

Процес виготовлення включає у себе обробку соєвого шроту харчовою кислотою для розкладання білка на амінокислоти, за якою слідує нейтралізація, випаровування і кристалізація.

Соєві білки відіграють ключову роль, крім свого застосування в людському харчуванні, що стосується також відгодівлі тварин. Додавання соєвої макухи, а також не знежирених і знежирених соєвих круп у комбікорми, засновані на кукурудзі і зерні, сприяє отриманню високоякісного рослинного корму, що дозволяє значно збільшити середньорічні виробничі показники та вирощування худоби без використання гормонів.

Благодаря своїм поживним властивостям, соєві білки часто використовуються як альтернатива молочним білкам для годівлі молодняка, такого як ягнята, поросята, а особливо телята. Зазвичай соєві білки встановлюються в заміну не більше 30 % молочних білків. В якості заміників використовують соєве молоко і соєву муку. Багато заміників молока включають

соеві концентрати через їх вищий вміст білка та кращу засвоюваність тваринами. Також для цієї цілі можуть використовуватися ізоляти соєвого білка.

Завдяки своєму хімічному складу соя є необхідним компонентом в раціоні комбікормів. Використання сої в складі рецептів комбікормів дає можливість створювати біологічно повноцінні та високощільні раціони з обмінною енергією на рівні 3300 ккал/кг. Проте, важливість харчової цінності будь-якого продукту не обмежується лише вмістом природного біокомплексу речовин; також важливо, щоб ці речовини були легко засвоюваними організмом людини чи тварин. Навіть при високих харчових характеристиках соєвих бобів, їх використання для харчових і кормових цілей потребує специфічного технологічного підходу, оскільки насіння сої, на відміну від інших олійних насіннь, містять ряд антипоживних речовин.

Макуха або шрот, як залишкова продукція відділення олії, широко використовується як сировина для виробництва напівзнежиреного та знежиреного соєвого борошна і крупи. Також вона слугує висококонцентрованим білковим кормом для тварин. Ураховуючи, що з переробки 1000 кг сої може бути отримано 850 кг макухи з вмістом залишкової олії від 2 % до 4 %, без відповідної теплової обробки це може перетворитися на відходи. Також, в годівлі ягнят, поросят та іншого молодняка тварин також використовують концентрати та ізоляти соєвих білків.

Внесення соєвого шроту в науково обґрунтованих комбікормах дозволяє значно знизити витрати на виробництво тваринницької продукції, скоротити період відгодівлі худоби та зменшити захворюваність і смертність худоби. За даними, регулярне включення переробленого соєвого шроту або кормів на основі сої в раціон худоби може подвоїти середньодобовий приріст ваги і на третину знизити витрати на корми на одиницю продукції. При цьому період відгодівлі до досягнення 100 кг живої ваги можна скоротити в середньому на 10-15 днів, а якість тваринницької продукції покращити. [5]

У США, останнім часом, соєвий шрот широко використовується при виробництві комбікормів замість кісткового, рибного борошна та бавовняної

макухи. Присутність соєвого шроту в білковій складовій багатьох кормів, вироблених у цій країні, часто перевищує 2/3. При годуванні зростаючих телят на додаток до дійних корів до 30 % молочного білка можна замінити соєвим протеїном.

У розвинених країнах все більше уваги приділяється здоровому та профілактичному харчуванню. Це призвело до зростання зацікавленості в продуктах, отриманих від переробки соєвих бобів, в різних регіонах.

Найбільше використання в харчовій промисловості соя набула в США, Канаді, країнах ЄС, Китаї, Японії та Кореї. З відварених соєвих бобів виготовляють соєве молоко. Використовується як освіжаючий напій (часто з шоколадним, ванільним або горіховим смаком), а також як доповнення до сухих сніданків, різноманітної випічки, кондитерських виробів, каш і супів.

Соєве молоко – це низькокалорійний напій з характеристиками, подібними до коров'ячого молока, з кремовим кольором і приємним горіховим смаком. Воно містить приблизно 2,5 % білку і 1,5 % жиру. Своєрідний склад соєвого напою, що включає оптимальні кількості білків, ліпідів, лецитину, харчової дієтичної клітковини та біогенних мікро- і макроелементів, а також відсутність холестерину і лактози, робить його ефективним заміником коров'ячого молока. Такий хімічний склад робить соєві напої придатними для споживання маленькими дітьми, літніми людьми, людьми з непереносимістю молока, виразковою хворобою шлунка, підвищеною кислотністю шлунка та харчовою алергією.

Сухе соєве молоко, маючи кремовий колір та приємний горіховий аромат, представляє собою ідеальне джерело повноцінного білка. Він є цінним постачальником вітамінів, незамінних амінокислот і мінеральних речовин, зокрема солей кальцію і заліза. У різних сферах застосування використовується як харчовий заміник і як заміник сухого молока при приготуванні напоїв, каш, супів, солодких паст, майонезу, соусів, кондитерських виробів та інших страв.

Внаслідок віджимання соєвого молока за допомогою фільтр-пресу отримують соєвий харчовий збагачувач, відомий як окара, що представляє собою нерозчинний залишок соєвого походження. Світло-жовтий колір, нейтральний

смак і характерна круписта консистенція роблять його відмінним від інших продуктів. Окара може містити до 5 % білка і 4 % жиру, а також є рослинним джерелом двовалентного заліза. Нейтральний смак і відсутність вираженого запаху дозволяє легко поєднувати його з більшістю продуктів і використовувати при приготуванні перших і других страв, у м'ясних і овочевих котлетах (до 30%), у випічці, хлібобулочних виробках, печиві, підливках і соусах або як добавку до млинців і гарячих пирогів.

Тофу, також відомий як соєвий сир, виготовляють в Китаї та Японії протягом понад 2000 років, використовуючи скручене соєве молоко (напій). Після коагуляції масу віджимають або пресують і зберігають у воді в холодильнику або в герметичних пакетах. Заморожений тофу набуває світло-золотистого відтінку та стає пружним на дотик. Свіжі соєві сири не мають запаху і додають глибину смаку, тому часто використовують різноманітні ароматизатори, включаючи трави, спеції, морські водорості, кріп і кмин. Завдяки високій харчовій цінності, дієтичним властивостям та низькому вмісту жиру і вуглеводів, тофу стає невід'ємною частиною дієтичного харчування. Соєвий продукт має консистенцію м'якого сиру, кремовий колір і ніжний смак.

Продукти, подібні до пасти, зі солодким смаком на основі сої нагадують звичайні молочні сиркові маси. Соєва сиркова маса готується аналогічно до тофу, з додаванням цукру та іноді какао. Цей продукт зазвичай світло-коричневого кольору, має ніжний смак і легко засвоюється. Він може сподіватись сирим або використовувати в кремах, бутербродах, випічці та інших стравах. Соєва сироватка є проміжним продуктом у виробництві тофу і використовується в соусах, м'ясних та овочевих стравах.

Соєві вершки, такі як кефір та йогурт, виготовляються з використанням кефірних та йогуртових заквасок, які допомагають підтримувати здорову мікрофлору кишечника. Соєвий йогурт є натуральним еквівалентом кисломолочних продуктів і містить близько 2,5 % білка і 1,5 % жиру. Соєві напої виготовляють шляхом додавання цукру до соєвої емульсії та ферментації її

термофільними молочнокислими стрептококами та чистими культурами болгарської палички або біфідобактерій.

Соевий майонез – це низькокалорійний емульсійний продукт, який зазвичай містить до 2,5 % білка і 25 % жиру. Містить соєву олію, соєвий білок, сіль, цукор, оцет, гірчицю та інші добавки. Соевий майонез є дуже корисною харчовою добавкою, оскільки він заснований на рослинному білку і не містить яєчного борошна або холестерину.

Соева сметана є особливим дієтичним продуктом, який містить до 4% білка та 20 % жиру. За складом і поживною цінністю вона майже ідентична натуральній сметані, виготовленій з молока. Білкова пінка із соєвого молока, відома як "юба", утворюється під час його нагрівання і містить значні кількості білка та жиру. Цей продукт успішно використовується як інгредієнт у вегетаріанських стравах. Борошно, виготовлене з смаженого цільного насіння сої, що відоме як "кінако", застосовується як посипка і основа для приготування кексів, коли його змішують з цукром.

Соеві шоколадні пасти, що містять до 6 % білка і 25 % жиру, використовуються в кондитерських виробках і бутербродах. Промисловість також виробляє консервоване зелене насіння сої, яке збирають, коли воно досягло близько 80 % зрілості. Місо – солоня приправа з характерним смаком, яку отримують шляхом тривалого бродіння суміші соєвих бобів, розсолу і крохмалю (зазвичай використовується для ферментації рису), використовується в супах.

Соевий соус, відомий як шою, також входить до категорії ферментованих соєвих продуктів. Для його виготовлення використовують відварену знежирену соєву муку, подрібнені та підсмажені зерна пшениці, закваску Kodiak, солону воду та іноді спеціальні мікроорганізми. Соевий лецитин використовується у фармацевтичній промисловості. Продукти з соєвого білка також використовуються у виробництві фармацевтичних препаратів та харчових добавок (ізофлавонони, сапоніни, фітинова кислота, інгібітори протеази). Склад та харчова цінність 100 г соєвих продуктів надано у таблиці 1.2 [15].

Натто – продукт, отриманий з варених цілих соєвих насінин, які піддаються ферментації за участю *Bacillus natto*. Темпе – результат ферментації варених соєвих насінин культурою цвілевих грибів *Rhizopus oligosporus*. Цей продукт часто використовується як добавка до супів або швидкозаморожених продуктів, а також як заміник м'яса. У Китаї тофу *sous-vide* (ферментований тофу) виробляють шляхом висаджування *Actinomyces elegans* (або інших дріжджів) на кубики пастеризованого тофу, їх ферментації та остаточного дозрівання в розсолі, виготовленому з рисової горілки та 12 % солі. Отриманий продукт має солонуватий смак і текстуру, схожу на плавлений сир. [22].

Таблиця 1.2 – Хімічний склад і харчова цінність 100 г соєвих продуктів

| Показник | Місо | Темпе | Натто | Окара | Ізолят | Соєвий соус шою | Соєве молоко |
|-------------------------------|------|-------|-------|-------|--------|--------------------|-----------------|
| Вода, г | 41,5 | 55,0 | 55,0 | 81,6 | 5,0 | 71,1 | 93,3 |
| Енергетична цінність, ккал | 206 | 199 | 212 | 77 | 338 | 53 | 33 |
| Протеїн, г | 11,8 | 19,0 | 17,7 | 3,2 | 80,7 | 5,2 | 2,8 |
| Вуглеводи, г | 28,0 | 17,0 | 14,4 | 12,5 | 7,4 | 8,5 | 1,8 |
| Жир, г | 6,1 | 7,7 | 11,0 | 1,7 | 3,4 | 0,1 | 1,9 |
| Сира клітковина, г | 2,5 | 3,0 | 1,6 | 4,1 | 0,3 | 0,0 | 1,1 |
| Кальцій, мг | 66 | 93 | 217 | 80 | 178 | 17 | 4 |
| Залізо, мг | 2,74 | 2,26 | 8,60 | 1,30 | 14,50 | 2,02 | 0,58 |
| Цинк, мг | 3,32 | 1,81 | 3,03 | - | 4,03 | 0,37 | 0,23 |
| Вітамін В ₁ , мг | 0,10 | 0,13 | 0,16 | 0,02 | 0,18 | 0,05 | 0,16 |
| Вітамін В ₂ , мг | 0,25 | 0,11 | 0,19 | 0,02 | 0,10 | 0,13 | 0,07 |
| Вітамін РР, мг | 0,86 | 4,63 | 0,00 | 0,10 | 1,44 | 3,36 | 0,15 |
| Вітамін В ₆ , мг | 0,22 | 0,30 | - | - | - | 0,17 | 0,04 |
| Вітамін В ₉ , мг | 33,0 | 53,0 | - | - | 176,0 | 15,5 | 1,5 |

1.2 Характеристика біологічних особливостей бобів сої

Біологічною особливістю сої є те, що вона містить значну кількість антипоживних речовин, які, за даними більшості досліджень, можна зменшити, використовуючи сучасні технології переробки та методи контролю якості рослинного матеріалу. Наприклад, деякі вчені стверджують, що гідролізовані рослинні білки можуть спричинити зниження функцій мозку та нервової системи у дітей. Це пов'язано з втратою активності окремих амінокислот під час гідролізу білків і утворенням шкідливих мікробних метаболітів [37].

До того ж, соя має високу здатність активно накопичувати радіоактивний стронцій. Існують докази того, що соя, вирощена в зонах підвищеної радіації, може містити функціонально змінені білки [15].

Навіть при високому харчовому та лікувально-профілактичному значенні соєвих насінням, їх рідко вживають безпосередньо через характерний терпкий смак і запах. Борошно і шрот, вироблені з сирі сої, погано зберігаються і швидко набувають гіркавого присмаку, що є ознакою окислення жирів та погіршення їх якості. Вміст корисних речовин у сирому насінні сої та інших бобових культур значно зменшується, оскільки сире зерно бобових містить лише 15 – 20 % засвоюваного білка, що обумовлено наявністю різних білкових сполук у їх складі [9].

Хоча соєві боби мають високу харчову цінність, їх використання в харчовій та кормовій сферах вимагає специфічного технологічного підходу. Відмінно від інших олійних насіннь, насіння сої містить ряд природних антипоживних речовин. Переважно це інгібітори протеаз та гемагглютеніни (лектини, сапоніни), а також речовини, які можуть викликати алергічні, ендокринні та рахітні розлади [21]. Деякі з цих речовин, ймовірно, відіграють важливу роль у захисті рослин від неблагодійних екологічних впливів, таких як комахи, віруси, бактерії тощо. Усі рослини містять певну кількість протеолітичних ферментів та їхніх інгібіторів, але соя є найактивнішою [15].

Наявність антипоживних речовин у насінні сої може призвести до зниження поживної цінності, що впливає на ефективність використання поживних речовин і кормів, а також може спричинити затримку росту, зниження приросту ваги, збільшення підшлункової залози, зміни і пошкодження слизової оболонки та алергічні реакції [15].

Найбільш широко вивчені інгібітори сої – це переважно інгібітори протеолітичних ферментів, таких як трипсин і хімотрипсин. Саме насіння сої містить більше п'яти інгібіторів трипсину, які складають від 5 % до 10 % загального білка і мають активність від 18,2 мг/г до 42,8 мг/г.

Інгібітори трипсину класифікуються як глобуліни через їх розчинність. Характерною особливістю є їх здатність утворювати стійкі комплекси з ферментами, внаслідок чого ферменти повністю втрачають каталітичну активність.

Вживання насіння сої може спричинити шлунково-кишкові розлади через наявність 1,6-зв'язаних глікозидів, які не розщеплюються під час травлення в кишечнику. Під впливом кишкової мікробіоти ці сполуки метаболізуються до метану та вуглекислого газу, які накопичуються в кишечнику. Одним з небажаних олігосахаридів у сої є рафіноза, яка формується з молекул глюкози, фруктози і галактози, а також стахіоза, що утворюється за участю молекул галактози. Розвиток метеоризму пов'язаний з відсутністю в організмі людини ферменту галактозидази, який необхідний для гідролізу рафінози і стахіозу.

У соєвому борошні вміст сапонінів коливається від 0,5 % до 2,2 %. Вони роблять квасолу гіркою і мають гемолітичну дію на еритроцити. Сапоніни є поверхнево-активними речовинами і слабо адсорбуються шлунково-кишковим трактом.

У насінні сої міститься невелика кількість фітинової кислоти, яка переважно присутня у формі магнієво-кальцієвих солей, відомих як фітин. Фітинова кислота міститься в насінні багатьох рослин, включаючи злаки, бобові та олійні.

Обмежена розчинність більшості солей фітинової кислоти призводить до їхнього часткового непоглиблення організмом, а також впливає на всмоктування різних макро- і мікроелементів, таких як кальцій, магній, залізо, цинк, молібден, марганець і мідь, які містяться в їжі. Значний приплив фітинової кислоти з рослинною їжею може спричинити рахітогенний ефект. Фітинова кислота може утворювати комплекси з білками насіння, що змінює їхню розчинність та знижує рівень рН, що веде до їх осадження.

Насіння сої характеризується наявністю у своєму білковому складі таких ферментів, як уреаза та ліпоксигеназа. Уреаза становить близько 12 % усіх білків. У присутності буфера уреаза розщеплює сечовину до утворення амонійних солей вугільної кислоти, вуглекислого газу та води. Активність уреазі оптимальна при рН 7,0. Додаткові хімічні реакції можуть спричинити утворення аміаку, що може призвести до отруєння тварин або порушення нормального функціонування нирок. Уреаза має специфічну хімічну активність, і її активність можна виміряти, щоб оцінити ступінь термічної обробки соєвих бобів.

1.3 Методи зменшення активності антипоживних речовин у соєвих бобах

Багато небажаних природних речовин і компонентів сої чутливі до нагрівання і руйнуються під час термічної обробки, необхідної для повного засвоєння всіх бобових білків. Термічна обробка виявляється ефективною щодо інгібітора трипсина, активність якого практично зменшується так само, як і активність уреазі [1]. Таким чином, активність інгібітора трипсина може бути визначена за показником активності уреазі. Нагрівання також частково інактивує піролізовані гемаглютиніни (лектини), антивітамінні речовини та фітати. При використанні білкових продуктів, отриманих із зерна бобових, у хлібопекарській, кондитерській та інших галузях харчової промисловості, важливо забезпечити низьку активність як інгібіторів ферментів, так і лектинів, щоб відповідати гігієнічним вимогам для сертифікації. Зниження активності лектинів можна досягти застосуванням більш м'яких режимів обробки, наприклад, нагрівання при

температурі 80 °С. Термоденатурація сприяє поліпшенню здатності насіння сої та соєвих білків до перетравлення.

Велика кількість антипоживних речовин, які негативно впливають на якість соєвого насіння, після дезактивації стають корисними в раціоні, оскільки вони багаті на незамінні амінокислоти. У випадку сирої сої обробка необхідна для дезодорації зерна і видалення неприємних запахів, які можуть суттєво змінити її хімічний і біологічний комплекс, підвищити її поживну цінність і обмежити засвоєння білкових речовин. [17].

Основним, простим і доступним методом знищення антипоживних речовин у сирому насінні сої є їх теплова обробка, що включає нагрівання насіння протягом визначеного часового інтервалу, і у деяких випадках використання додаткового зволоження, зазвичай у вигляді пару. Для підвищення ефективності теплового впливу важливим є правильний вибір параметрів обробки, таких як температура, тривалість, вологість і інші.

Для отримання соєвих продуктів високої якості та максимальної поживної цінності необхідно уважно вибирати оптимальні параметри технологічного процесу, дотримуючись відповідних режимів обробки, включаючи окремі їх етапи. При термічній обробці соєві продукти можуть мати нижчий індекс розчинності азоту (NSI) та індекс дисперсності білка (PDI) через денатурацію білка, спричинену вологою та високими температурами. Тривалий вплив інтенсивного нагрівання може знизити поживну цінність продуктів із соєвого білка, включаючи дисбаланс незамінних амінокислот. Коли біологічні речовини перегріваються, білки можуть втрачати свою розчинність і погано засвоюватися організмом.

У зв'язку з вищезазначеним, з метою розробки оптимальних методів переробки, американські дослідники виявили великий інтерес до взаємозв'язку між активністю інгібіторів трипсину, коефіцієнтом ефективності протеїну (PER) та умовами термічної обробки соєвих продуктів. Крім того, перегрівання сої під час термічної обробки збільшує ризик пошкодження олійної фракції, що може

призвести до утворення компонентів, які важко або неможливо перетравити тваринам.

На сьогоднішній день розроблено численні ефективні методи, технологічні прийоми та способи інактивації антипоживних факторів та компонентів комбікормів, які готуються для легкого та ефективного засвоєння організмом тварин. Відомі також режими обробки сої та соєвого знежиреного борошна, які спрямовані на інактивацію протеолітичних інгібіторів, руйнування антипоживних речовин та стерилізацію. Дані методи широко використовуються у виробництві соєвого молока, сиру тофу та альтернатив традиційним молочним і м'ясним продуктам.

1.3.1 ІЧ-обробка сировини

Перші дослідження інфрачервоного опромінення були спрямовані на зменшення втрат зерна через амбарних шкідників і псування шляхом знищення бактеріальної та грибової мікрофлори. [17]. Наразі ІЧ-обробка також використовується для досягнення інших цілей.

Використання інфрачервоної енергії для термічної обробки зернових матеріалів привертає велику увагу в останні роки. Цей екологічно чистий метод значно покращує процес кондиціонування зерна та покращує його поживні властивості. Метод ІЧ-обробки отримує все більше застосувань у різних сферах харчової промисловості, зокрема у кондитерській, хлібопекарській, консервній, харчоконцентратній, м'ясомолочній та інших [5].

Теплова обробка зерна за допомогою інфрачервоного опромінення дозволяє швидко нагрівати зерно. Волога, що міститься в зерні або на його поверхні, починає рухатися до центру зерна. Під впливом високих температур поверхневий шар зерна втрачає воду і стискається, утворюючи щільну оболонку без пор і капілярів. Волога, що рухається до центру ядра, перетворюється на пару, і градієнт загального тиску пари швидко зростає з температурою ядра. Коли температура досягає 140 – 160 °С, загальний градієнт тиску пари стає настільки великим, що зерна "вибухають" і загальний градієнт тиску пари розслабляється.

Перед цим зерновий об'єм зростає приблизно в 1,5 – 2 рази, що призводить до тріскання, падіння міцності продукту і змін біохімічних, фізичних і технічних характеристик [4].

Обробка зерна інфрачервоними променями має значний вплив на вуглеводний комплекс зерна, сприяючи декстринізації крохмалю. На відміну від пастеризації, процес декстринізації характеризується обмеженим набуханням крохмальних гранул, яке руйнується під впливом температурного режиму. Процес декстринізації крохмалю призводить до зміни фізичних і хімічних властивостей крохмалю. Підвищений вміст водорозчинних речовин та покращена засвоюваність продукту.

В промисловому використанні інфрачервоне нагрівання отримало поширення з початком обробки зернової сировини в галузі виробництва комбікормів. Компанія Micronising (Великобританія, 1980 р.) представила метод, при якому вологе зерно нагрівається до 90 – 100 °С за допомогою інфрачервоного випромінювання, а потім подрібнюється при високій температурі за допомогою вальцювого млина.

Застосування газової горілки із температурою поверхні керамічної трубки в діапазоні 1000 – 1100 °С, з піковим випромінюванням в області 2,0 – 5,0 мкм, ефективно знизило вартість обробки, дозволяючи при цьому нагрівати зерно за режимом «мікронізації» [53]. Спроби збільшити швидкість нагріву призводили до перегріву і підгоряння поверхні зерна. Тому розробникам довелося використовувати методи попереднього зволоження ядра до 22 – 24 % вологості, щоб обмежити щільність пучка і охолодити поверхню ядра шляхом випаровування. Газові випромінювачі розташовані на відстані 250 мм від поверхні зернового шару під час його нагрівання до 100 °С. Кількість спожитого тепла еквівалентна 250 – 270 кВт на тонну зерна. Даний вид термічної обробки – це процес варіння, обмежений часом і кількістю вільної води, що випаровується [33].

Проникнення інфрачервоного випромінювання в товщу матеріалів і виробів та специфічний вплив опромінення на їхню структуру мають важливе

значення. Хоча це складне питання все ще перебуває на стадії дослідження, опромінення виробів інфрачервоним випромінюванням слід розглядати не тільки як метод інтенсивної термообробки, але і як процес, що має значний вплив на фізичні, хімічні та біологічні властивості матеріалів [14].

Вважається, що глибина проникнення інфрачервоних променів в продукт зростає зі зменшенням довжини хвилі випромінювання. Особливістю теплопередачі через матеріали, нагріті інфрачервоним випромінюванням, є те, що вона може створювати більш щільний тепловий потік порівняно з конвективною передачею. Це може значно збільшити швидкість нагрівання матеріалу [4].

Інфрачервоне опромінення при обробці зерна є перевіреним ефективним методом в концентрованій харчовій промисловості.

З 2000 року ПК «Старт» розробив і впровадив установку термічної обробки зерна (УТЗ-4) з використанням інфрачервоного випромінювання у виробництві харчових концентратів. З використанням УТЗ-4 виробляють швидкорозварювані крупи і пластівці, які не потребують варіння.

Оптимізація параметрів інфрачервоної обробки зернової сировини на спеціалізованому обладнанні, що масово виготовляється в Україні, є ключовим завданням для майбутніх досліджень.

Висновки за розділом

При проведенні аналізу літературних джерел виявлено, що одними з ключових напрямків наукових досліджень у галузі харчової промисловості є розгляд технологічних аспектів проблеми зниження антипоживних властивостей зернобобових культур та оптимізація технологічних параметрів обробки повножирних соєвих бобів за допомогою нових технологій, спрямованих на підвищення якісних характеристик сої і забезпечення високих споживчих переваг даного продукту

Фахівці з України та інших країн пропонують різноманітні схеми переробки соєвого зерна для використання в харчовій і комбікормовій

промисловості. Однак серед них особливо важливими є схеми, які базуються на використанні короткочасного високотемпературного інфрачервоного нагріву. Незважаючи на очевидні переваги цієї технології, впровадження її в українській харчовій галузі, на жаль, виявляється завданням досить складним.

По-перше, через відсутність обладнання для теплової обробки інфрачервоним випромінюванням. По-друге, через відсутність оптимальних технологічних схем виробництва і недостатню кваліфікацію персоналу.

Для вирішення визначених труднощів у використанні високотемпературних технологій для обробки сої можна розглядати методи, спрямовані на цільову зміну початкових характеристик соєвого зерна. Огляд наукових джерел свідчить, що існують такі методи, які мають свої переваги. Серед них інфрачервона обробка сировини широко використовується у виробництві різних зернових продуктів харчування.

Враховуючи вищезазначене, основною метою даного дослідження є розробка нового методу переробки соєвих бобів на основі використання інфрачервоного випромінювання. Цей метод спрямований на отримання продуктів для потреб харчової і комбікормової промисловості, які відзначаються високими фізико-хімічними та функціонально-технологічними характеристиками.

2 МЕТОДИ і МАТЕРІАЛИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Матеріали використані під час проведення досліджень

Для дослідження було обрано найбільш адаптований сорт сої Соната відповідно до вимог ДСТУ 4964:2008 «Соя», як показано в таблиці 2.1. Технічні вимоги.

Вказаний вид виявляє стійкість до несприятливих погодних умов та найпоширеніших хвороб.

Таблиця 2.1 – Якість досліджуваних соєвих бобів

| Найменування показника | Характеристика |
|---|-----------------------------------|
| Колір | Світло-жовтий |
| Запах | Властивий нормальному насінню сої |
| Форма | Куляста |
| Поверхня | Гладка, матова, |
| Стан | Не гріється, в здоровому стані |
| Вологість, % | 9,2 |
| Сміттєва домішка, % | 0,14 |
| Органічна домішка, % | 0,12 |
| Насіння рицини | Не виявлено |
| Зараженість шкідниками зернових запасів | Не виявлено |

Відповідно до вимог ДСТУ 4964:2008 «Соя. Технічні вимоги», соя, яку постачають на переробні підприємства, має мати однотонний колір або може мати плями, які є характерними для звичайних насінин сої, призначених для обробки. Щодо запаху, він повинен бути характерним для здорових насінин сої, без будь-яких неприємних ароматів, таких як старий, солодкий, пліснявий тощо. Форма насіння може бути довгасто-овальною або кулястою, а поверхня може бути гладкою, блискучою або матовою. Припускається наявність насіння з морщинчастою поверхнею, що виникла внаслідок неблагоприятних погодних умов, проте зберігається нормальна форма насіння та його природний колір при

розрізанні. Якщо вміст зморшкуватого насіння перевищує 5 %, партія сої отримує відмітку «зморшкувата» і повинна бути реалізована в першу чергу. Щодо стану насіння, воно повинно бути невідігріте та в здоровому стані.

2.2 Методи використані під час експериментальних дослідження

2.2.1 Фізичні показники зерна

Визначення вмісту вологи в соєвих бобах проводили відповідно до вимог ГОСТ 10856-96.

2.2.2 Визначення біохімічних показників зерна

Визначення сумарного, розчинного і водорозчинного білка проводилося шляхом використання методу К'ельдаля згідно з ГОСТ 10846-91. Для виділення розчинного білка використовувався 0,2%-й розчин їдкого натру, після чого проби піддавались спалюванню та визначенню за методом К'ельдаля (згідно з ГОСТ 13979.3-98).

Визначення водорозчинного білка здійснювалося шляхом змішування подрібнених соєвих бобів з водою, після чого проводилася фільтрація і аналіз отриманого фільтрату за допомогою методу Лоурі.

Визначення амінокислотного складу проводилося за допомогою аналізатора від Хітачі.

Визначення активності уреаз. Визначення активності уреазі проводили відповідно до вимог ГОСТ 13979.9-99.

Дослідження ліпідного комплексу соєвих бобів включало визначення кислотного числа соєвої олії за допомогою титриметричного методу з потенціометричною індикацією, згідно з ГОСТ 5476-80.

Визначення йодного числа соєвої олії проводилося за допомогою методу Кауфмана, використовуючи розчин бромистого натрію та бром у метиловому спирті, відповідно до ГОСТ 5475-89.

2.2.3 Аналітичні методи дослідження мікробіологічного стану зерна

Моніторинг мікробіологічного стану соєвого зерна, як в початковому вигляді, так і після ІЧ-обробки, проводили за допомогою широко визнаних методів, що застосовуються в технологіях харчового виробництва. Це включало ідентифікацію та підрахунок бактеріальної та грибової мікрофлори шляхом посіву на чашки Петрі з використанням спеціалізованих поживних середовищ.

2.3 Дослідницьке обладнання

2.3.1 Лабораторний експериментальний стенд для дослідження процесів інфрачервоної обробки зерна

Для вивчення динаміки процесу термообробки зернової сировини було розроблено експериментальну установку із використанням інфрачервоного енергопідводу (див. рис. 2.1).

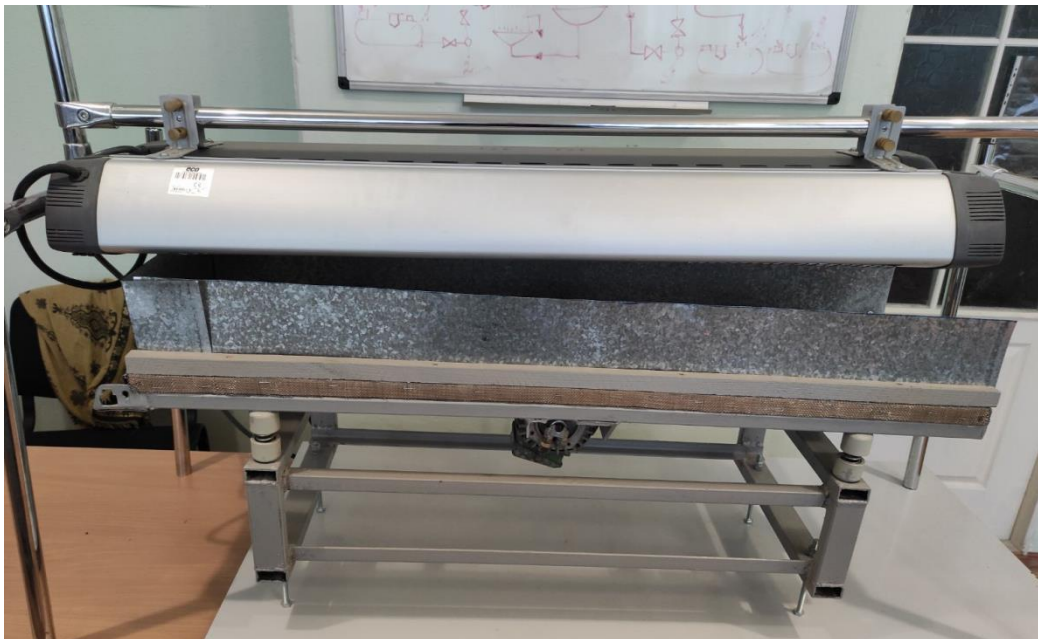


Рисунок 2.1 – Експериментальна установка для ІЧ-обробки зернової сировини

Система включає в себе камеру для обробки матеріалу, де можливо змінювати відбивачі. Положення випромінювача відносно рефлектора можна плавно регулювати по горизонталі і вертикалі. Були проведені дослідження просторового розподілу променевої енергії в наступних варіантах конструкції:

- 1) від одного або декількох випромінювачів;
- 2) при використанні рефлекторів різної форми; та
- 3) при рівномірному або нерівномірному розміщенні випромінювачів у горизонтальній площині.

На рис. 2.2 приведено схематичне розташування випромінювачів над зоною обробки.

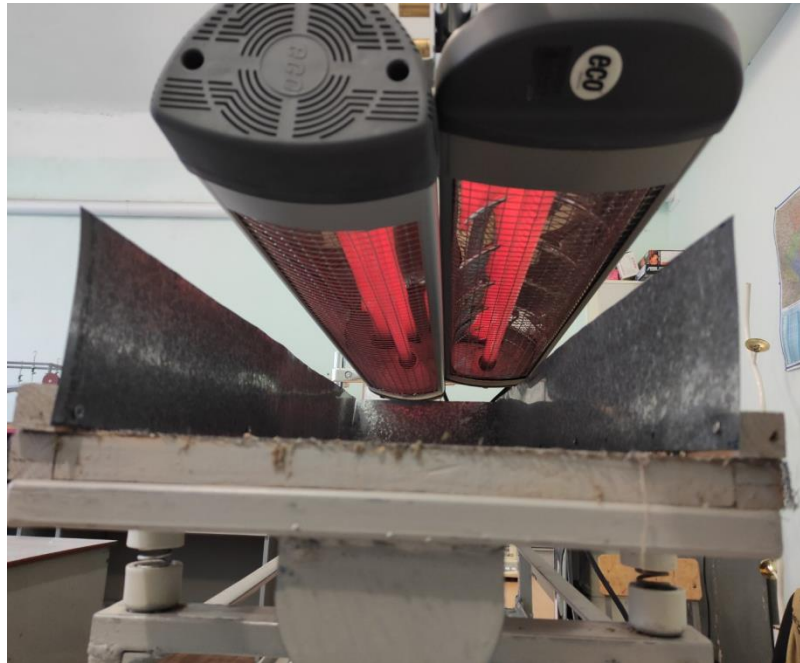


Рисунок 2.2 – Схема розташування випромінювача мікронізатора

Тиристорні блоки використовуються в електричному ланцюзі для зміни напруги на затискачах ІЧ-випромінювачів в діапазоні 0-250 В і для введення коливального режиму ІЧ-опромінення. Використано дистанційний безконтактний інфрачервоний термометр Raytek MiniTemp FS для вимірювання температури поверхні оброблюваного матеріалу. Також, установка для експериментів обладнана вібратором для поступового переміщення продукту.

Для досягнення більш точних та близьких до реальних умов обробки було вирішено провести експериментальні дослідження на промисловій установці УТЗ-4М.

2.3.2 Установка для термічної обробки зернової сировини

Для проведення експериментального дослідження з інфрачервоної обробки соєвих бобів було використано серійну установку УТЗ-4М для термічної обробки зернових матеріалів. На рисунку 2.3 показано загальний вигляд установки.

Система включає в себе величезну металеву раму, на якій базуються всі приводи. На стрічковому конвеєрі, обладнаному жароміцною сіткою, розташовані теплові касети зверху та теплоізоляція знизу, створюючи тепловий тунель для обробки продукту за допомогою інфрачервоних хвиль з різною інтенсивністю. Такі параметри, як швидкість стрічки, час витримки продукту під нагрівальним блоком і товщина шару продукту на стрічці, можна плавно регулювати. Інтенсивність обробки сої регулюється шляхом контролю часу перебування бобів в камері під впливом інфрачервоного випромінювання.

Тривалість інфрачервоного випромінювання можна регулювати, змінюючи швидкість руху сітчастого металевого конвеєра в ІЧ-установці. Можливість змінних режимів нагріву матеріалу ефективно зменшує температурний градієнт шару зерна на стрічці та досягає рівномірності обробки зерна. В цій установці здійснюється процес осцилюючого нагріву зерен.

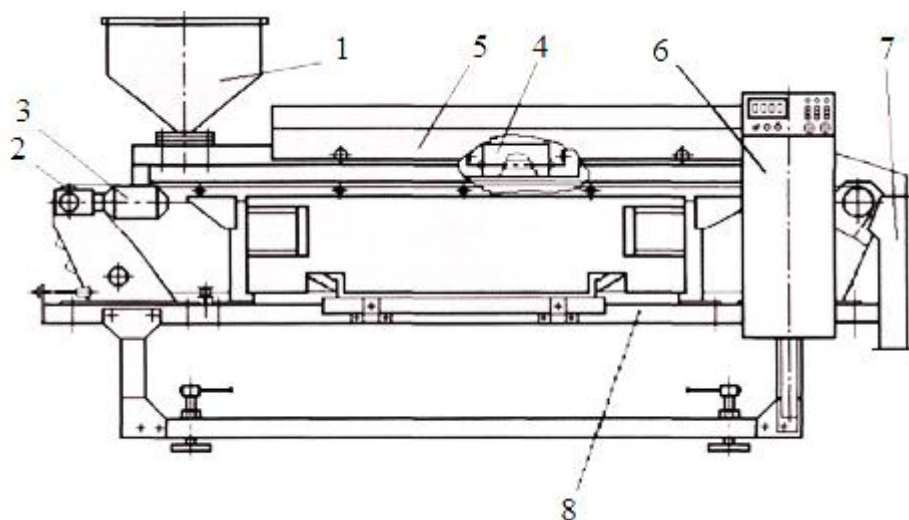


Рисунок 2.3 – Загальний вигляд ІЧ-установки

- 1 – бункер сировини; 2 – транспортер матеріалу; 3 – мотор з редуктором;
 4 – касета; 5 – кожух транспортера; 6 – пульт керування; 7 – бункер темперування;
 8 – станина.

Використання такого режиму нагріву сприяє максимальному зниженню градієнту температур як на поверхні, так і всередині матеріалу. У цій конфігурації використовуються інфрачервоні випромінювачі типу КГТ-220-1000. Кінцеву температуру оброблюваного матеріалу можна регулювати шляхом вимірювання в двох точках – на вході і на виході з бункера.

Висновки за розділом

У цьому кваліфікаційній роботі було розглянуто методики та матеріали, які використовувалися для проведення досліджень. Також надано опис експериментального обладнання, включаючи характеристику промислової установки УТЗ-4М.

3 ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

3.1 Дослідження процесу мікронізації соєвих бобів та розробка пропозицій щодо вдосконалення обладнання для його реалізації

Наукові дослідження було проведено в умовах навчальної лабораторії кафедри харчових технологій ДДАЕУ та у виробничих умовах ТОВ «ТОРГОВА КОМПАНІЯ ЕКОНА». У цьому дослідженні розглядалися партії соєвих бобів сорту "Соната", які були вирощені протягом періоду з 2022 по 2023 рік. Основні біохімічні показники цих бобів представлені у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Характеристика сої

| Показник | Зразок №1 | Зразок №2 | Зразок №3 |
|----------------------------|-----------|-----------|-----------|
| Вологість, % | 9,0 | 9,0 | 9,0 |
| Сирий протеїн, % с.р. | 30,7 | 30,4 | 35,0 |
| Масова частка жиру, % с.р. | 17,5 | 17,0 | 18,0 |
| Активність уреазни, од. рН | 1,91 | 2,12 | 2,50 |
| Кислотне число, мг КОН/г | 0,4 | 0,4 | 0,4 |

Зразки сої, розглянуті в цій роботі, мали вміст сирого протеїну 30,0 – 35,0 % та масову частку жиру 17,0 – 18,0 %. Також було виявлено, що вихідна соя мала високу уреазну активність.

Хімічний склад досліджуваних зразків сої дещо відрізнявся, тому конкретна інформація про те, які саме зразки використовувалися на кожному етапі тестування, в цій роботі не наводиться.

Усі проведені дослідження виконувалися у 3 – 5 повтореннях. Експерименти з обробки соєвих бобів інфрачервоним випромінюванням проводилися на різних зразках зерна (вологість 9,0%, 12,0%, 15,0% і 18,0%). Для цього вихідне зерно з вологістю 9,0 % зволожували шляхом обприскування розрахованою кількістю води і витримували в герметичних умовах при температурі 5 – 7 °С (в холодильнику) протягом 48 годин.

Кількість води, що вводилася в зразок, визначали згідно з [24] за наступним рівнянням:

$$m_{\text{води}} = \frac{m_{\text{зерна}} \cdot (W_k - W_h)}{100 - W_h}, \quad (3.1)$$

де $m_{\text{води}}$ – кількість води для зволоження $m_{\text{зерна}}$, мЛ;

$m_{\text{зерна}}$ – маса зерна до зволоження, г;

W_k – початкова вологість зерна, %;

W_h – вихідна вологість зерна, %.

Зразки сої з вмістом води 9,0%, 12,0%, 15,0% і 18,0% піддавали інфрачервоному нагріванню при потужності потоку випромінювання $E = 22 - 24$ кВт/м в установці УТЗ-4. Температуру нагрівання поверхні насіння сої моніторили за допомогою безконтактного термометра RayTeck Mini Temp FS.

З літературних джерел відомо, що основними факторами, які впливають на зміну зернового матеріалу, є швидкість нагрівання та пов'язана з цим енергія, що виділяється [26].

На рисунку 3.1 показано графік кінетики нагрівання в залежності від початкового вмісту води в соєвих бобах.

Було виявлено, що зі збільшенням вмісту води в сої час, необхідний для інфрачервоної обробки для досягнення бажаної температури нагріву, природно, збільшується. Наприклад, для нагрівання зерна з вологістю 12,0 % до 100 °С потрібно 60 секунд, тоді як для зерна з вологістю 18,0 % – 80 секунд. Слід також зазначити, що обробка сої ІЧ-методами вимагає в середньому в 1,5 – 2 рази більшого часу нагрівання, ніж зернових культур.

З метою наукового встановлення впливу структурно-механічної та капілярно-пористої будови окремих зерен були проведені дослідження з вимірювання поверхневої та "внутрішньої" (середньозваженої) температури. Об'єктами дослідження були боби сої та зерна пшениці з вологістю 15,0 %.

Тонкий помел здійснювали на обладнанні УТЗ-4 при температурі нагріву поверхні 120 – 130 °С.

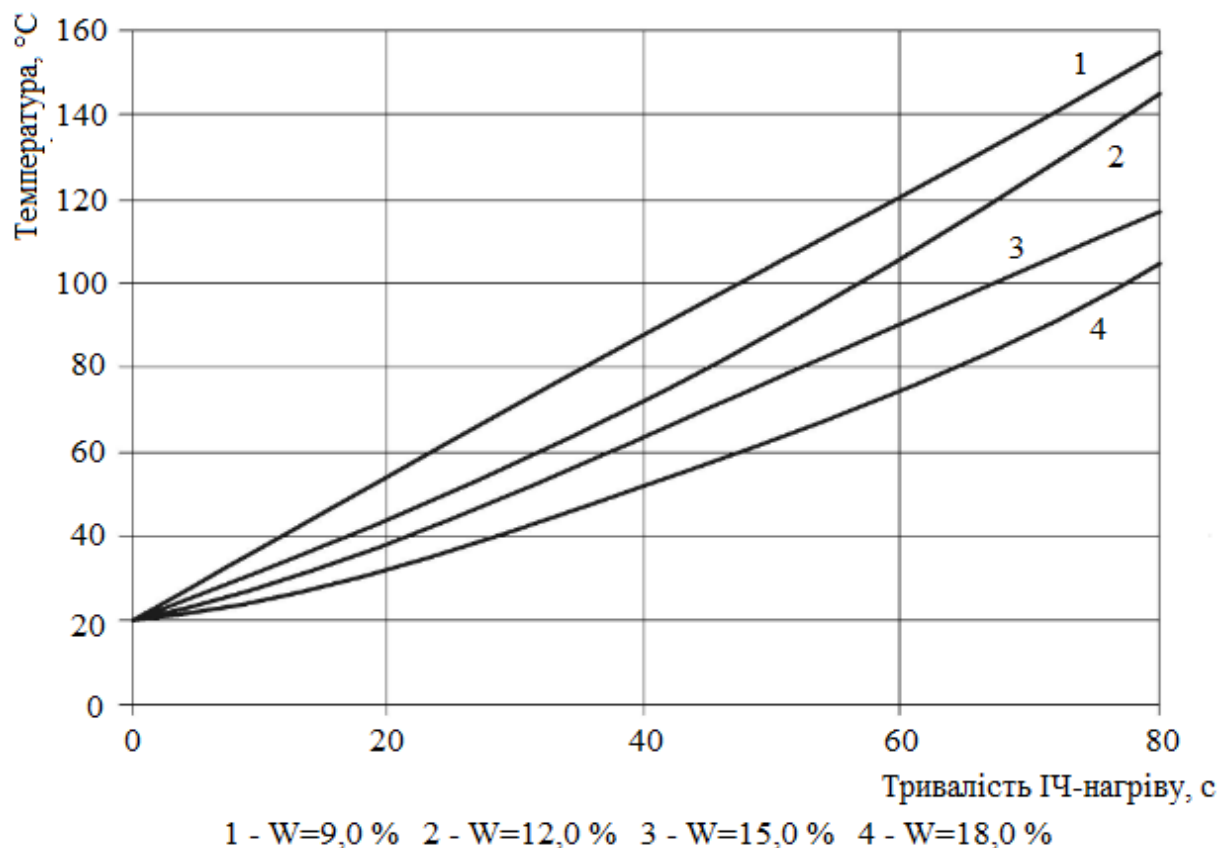


Рисунок 3.1 – Дослідження кінетики нагрівання бобів сої інфрачервоною установкою УТЗ-4 (залежно від початкової вологості сировини).

Для визначення середньозваженої температури насіння сої та пшениці, зразки з інфрачервоним нагріванням поміщали в ізольовані контейнери, обладнані спеціальними термопарами. Середньозважену температуру оброблених зразків вважали такою, що залишалася постійною протягом 2 – 3 хвилин.

Виходячи з отриманих даних (рис. 3.2), існують суттєві відмінності між характером зміни поверхневої та "внутрішньої" (середньозваженої) температури насіння сої та зерен пшениці. Наприклад, різниця між температурою поверхні та середньозваженою температурою пшениці коливається в межах 3 – 7 °С, а для сої – 10 – 30 °С за однакового постійного режиму нагрівання.

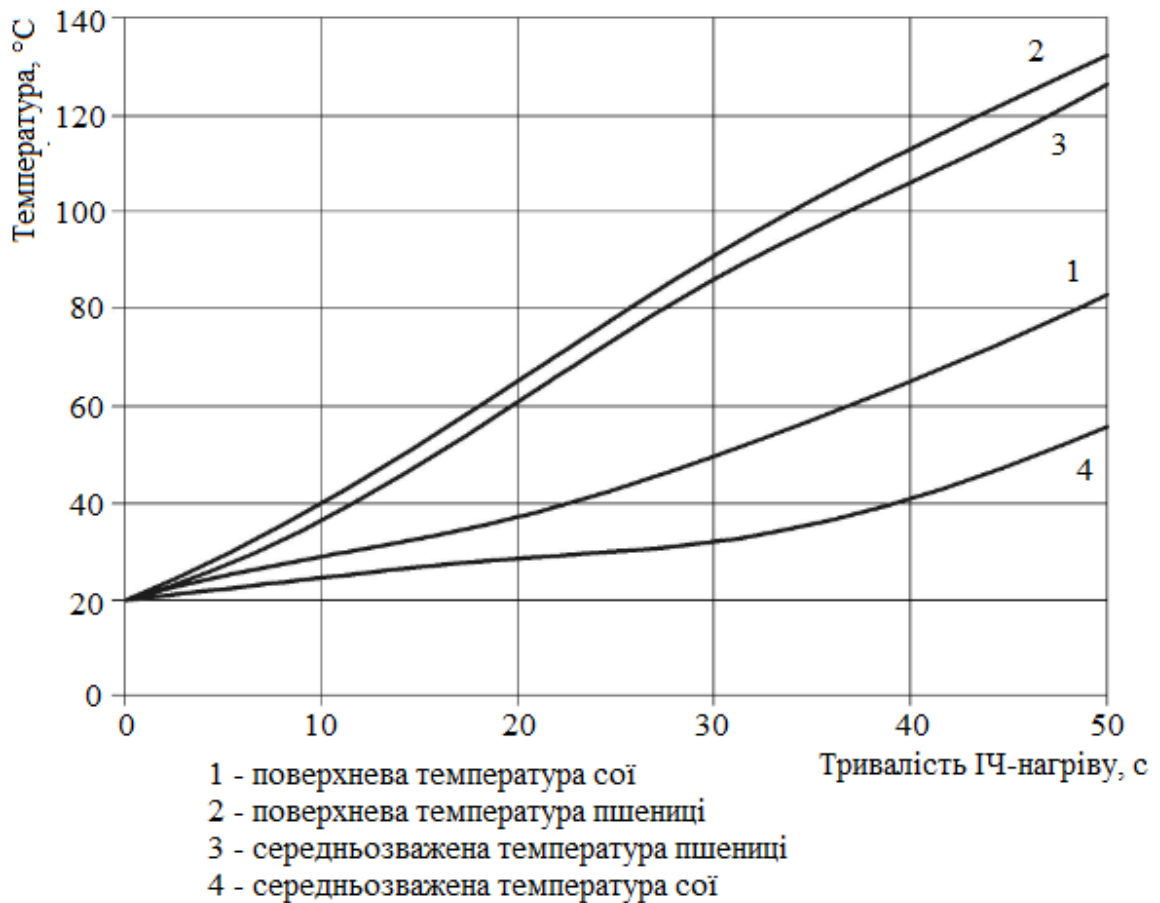


Рисунок 3.2 – Кінетика нагрівання сої та пшениці при 15,0% вологості

Таким чином, обробка соєвих бобів інфрачервоним опроміненням характеризується більш нерівномірним нагріванням зовнішніх і внутрішніх шарів у порівнянні з зерном. Даний факт слід враховувати при визначенні раціонального методу подрібнення насіння сої.

Безперечно, зазначені відомості вказують на те, що протягом зазначеного періоду часу насіння сої досягає середньозваженої температури на 60 – 70 °C менше, ніж випадки з зразками пшениці.

У ході досліджень, описаних у роботі, також було проведено аналіз різниці температур між температурою поверхні та середньозваженою температурою під впливом ІЧ-нагрівання, яка залежить від початкового вмісту вологи в насінні сої, протягом 50 секунд ІЧ-обробки для всіх зразків сої. Середньозважена температура сировини за даний період досягала 50 – 75 °C, а різниця між температурою поверхні та середньозваженою температурою була найбільшою для зразків сої з вологістю 9,0 – 12,0 %, яка знаходилася в межах 25 – 35 °C (рис. 3.3).

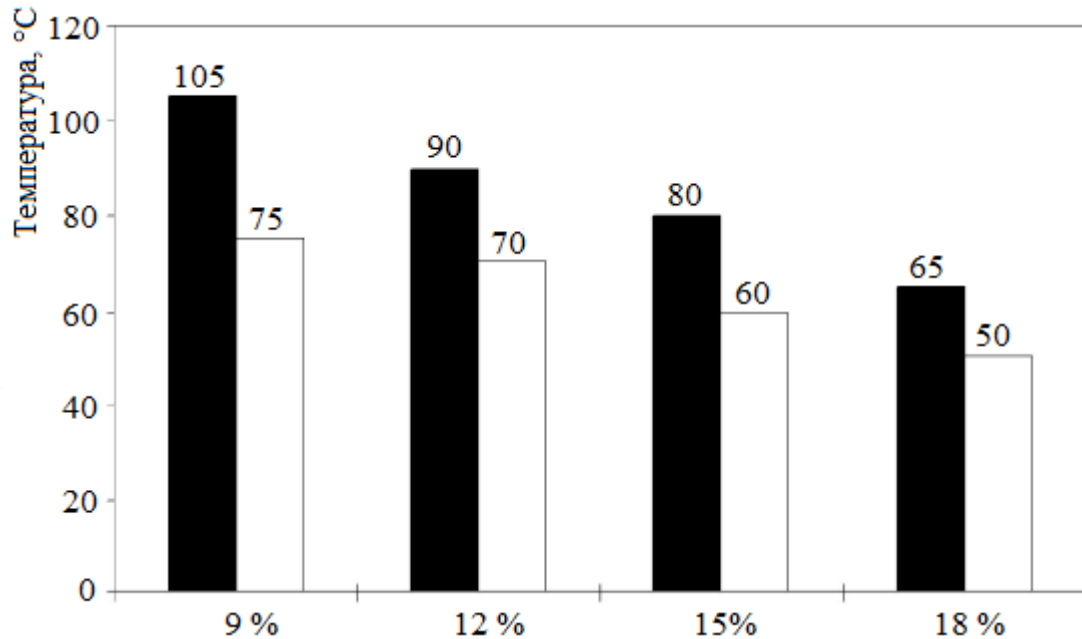


Рисунок 3.3 – Дослідження вплив вологості бобів сої на температуру поверхні та середньозважену температуру сировини

У той же час відомо, що інгібітори трипсину в насінні сої не втрачають своєї активності після обробки при 100 °C протягом 15 хвилин [15]. Слід зазначити, що автори не надали даних про вплив початкової вологості сировини на цю обробку. Тим не менш, дослідження, проведені для ІЧ-обробки пшениці та жита [9], показують, що вибір оптимального режиму розмелювання чітко залежить від початкової вологості сировини.

З вищесказаного можна зробити висновок, що режим ІЧ-нагрівання, рекомендований для зернових, не може бути використаний для обробки насіння сої.

Ці дані (рис. 3.4) показують, що висушені зерна з вологістю 9,0 % досягають середньозваженої температури 115 – 120 °C за 80 секунд, що є достатнім для інактивації інгібітору трипсину.

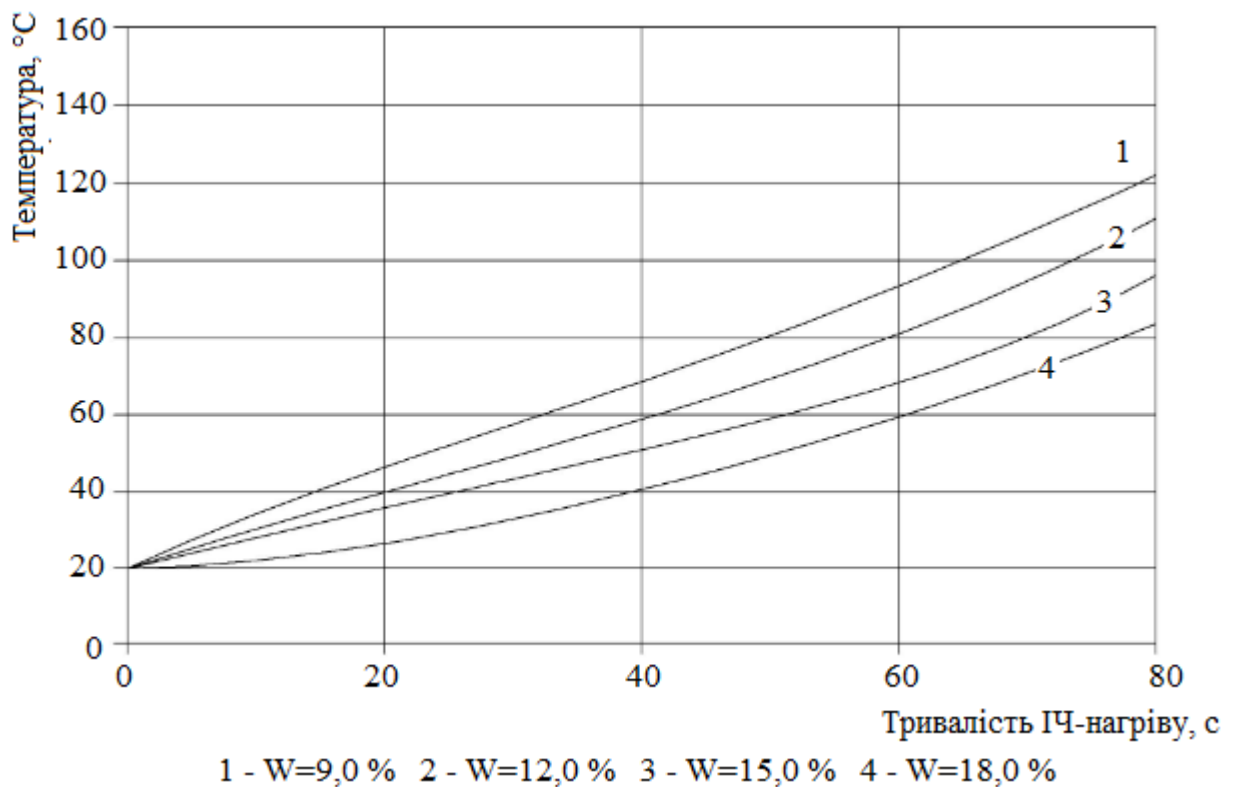


Рисунок 3.4 – Динаміка середньозваженої температури при ІЧ-нагріванні насіння сої варіюється в залежності від початкового рівня вологості сировини

Зразки з високим вмістом води за цей час не досягають необхідних температур. Важливо зазначити, що сухе зерно може згоріти під час цих режимів обробки, оскільки температура поверхні може досягати 160 °C і вище.

Тому через конструктивні особливості установки УТЗ-4, яка широко використовується при переробці зерна і змінює свої технічні характеристики, використовувати її при переробці соєвих бобів із заданими якісними показниками неможливо.

В даній роботі пропонується використання модернізованої версії установки термічної обробки зерна УТЗ-4 для тонкого помелу зернобобових культур, в тому числі насіння сої.

Модернізація нових моделей ІЧ-установок базується на використанні раніше детально вивчених режимів коливань [25]. Цей режим ґрунтується на чергуванні етапів опромінення та періодів покою (без опромінення). Цей метод

мінімізує температурні коливання між поверхнею і внутрішньою частиною матеріалу.

Використання осцилюючого режиму ІЧ-обробки із релаксацією теплового потоку дозволяє контролювати формування градієнтів температури та вологості, забезпечуючи збереження вологи в сировині та здійснюючи цільове модифікування початкових технологічних характеристик оброблюваного продукту.

На основі отриманих даних удосконалена установка УТЗ-4М з коливальним режимом опромінення була використана для ІЧ-обробки бобових культур, зокрема бобів сої, з використанням експериментальної установки для дослідження теплофізичних властивостей зерна та кінетики процесу ІЧ-обробки сировини (рис. 3.5).

Установка УТЗ-4М складається із трьох блоків нагріву, між якими розташовані тіньові зони з визначеним інтервалом, що сприяє релаксації поверхні об'єкта та надає додатковий час для проведення термовологопереносу всередині об'єкта обробки.

Ефективність передачі енергії забезпечується конкретним розміщенням та кількістю галогенних ІЧ-випромінювачів у блоках для теплової обробки. Крім того, УТЗ-4М має велику площу обробки, що сприяє підвищенню продуктивності при протруюванні насіння сої. Збільшення тривалості інфрачервоного нагріву досягається за рахунок зменшення відстані між основою інфрачервоного випромінювача і оброблюваним продуктом і за рахунок зміни параметрів вібраційного режиму інфрачервоної обробки.

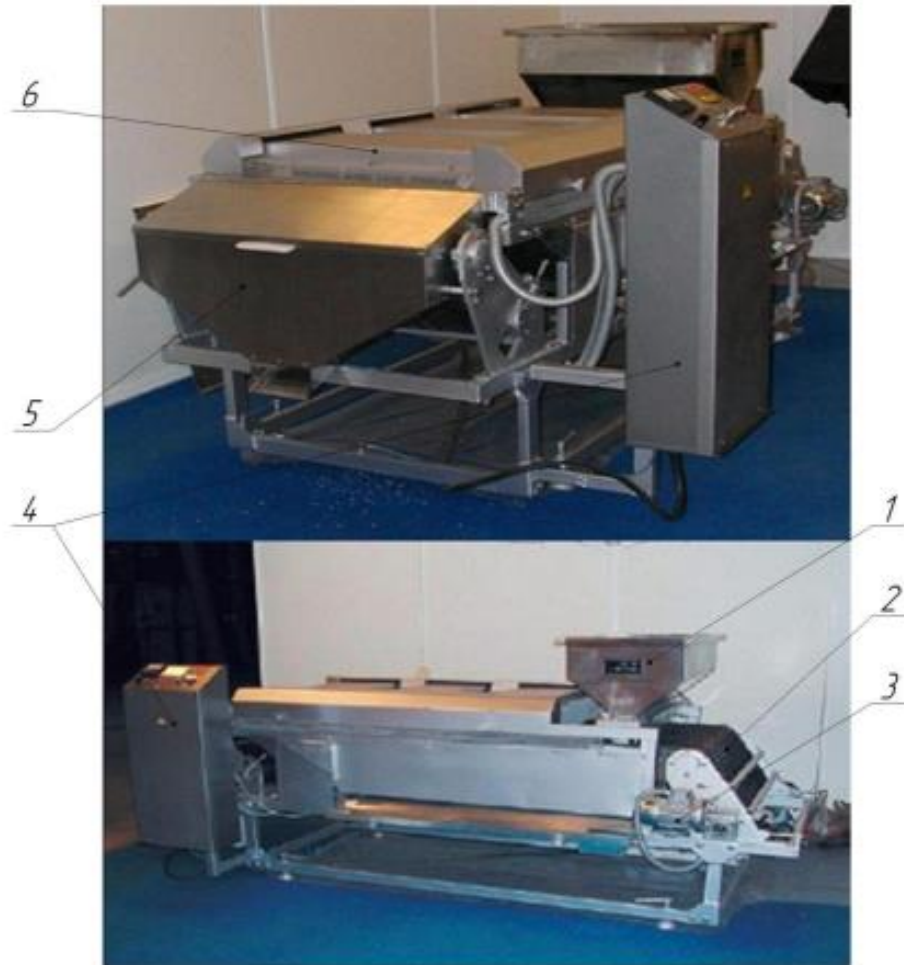


Рисунок 3.5 – Установка загального типу для мікронізації типу УТЗ-4М

- 1 – бункер завантажувальний; 2 – стрічковий транспортер;
 3 – електродвигун; 4 – блок керування; 5 – бункер для мікронізованого зерна;
 6 – захисний кожух ІЧ-випромінювачів.

На рисунку 3.6 показано динаміку нагрівання сої в модифікованій установці УТЗ-4М в залежності від початкової вологості.

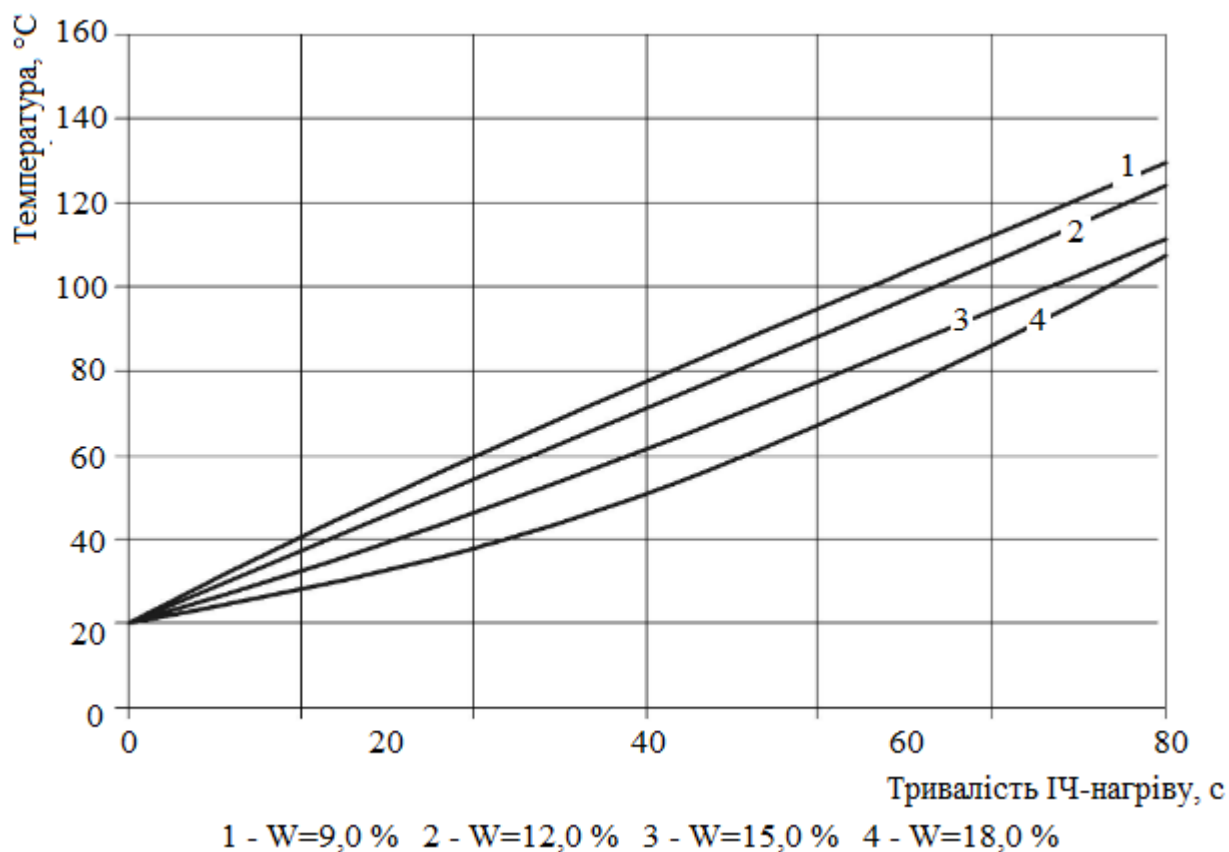


Рисунок 3.6 – Кінетика середньозваженої температури нагрівання бобів сої в апараті УТЗ-4М в залежності від початкової вологості.

Встановлено, що прогрівання соєвих бобів за допомогою установки УТЗ-4М характеризується зменшенням тривалості ІЧ-обробки на 25–30%. Однак конструктивні особливості, що становлять комерційну таємницю виробника, не можуть бути повністю розкриті у цьому дослідженні.

Додатково, як покажуть майбутні дослідження у розділі 3.2, на інактивацію інгібітора трипсину в соєвих бобах впливає не тільки досягнення певної середньозваженої температури сировини, але також величина внутрікапілярного тиску, що визначається, передусім, наявністю вільної води (яка, у свою чергу, залежить від початкового рівня вологості матеріалу), а також тривалість перебування сировини в зазначених умовах.

3.2. Кінетика нагрівання соєвих бобів при нанесенні поверхневої вологи

Відповідно до вимог ДСТУ щодо сої, максимальна допустима вологість не повинна перевищувати 12,0 %. В сировині з таким показником вологості майже відсутня вільна волога. Таким чином, у подальших етапах дослідження було здійснено штучне збільшення кількості вільної вологи для проведення подальших експериментів.

Існують два основних методи:

Замочування сировини шляхом поглиблення її в воду протягом визначеного часового інтервалу. Ступінь замочування визначається вимогами до конкретного виготовленого продукту.

У межах цього дослідження для проведення експериментів кінцевий вміст вологи в соєвих бобах повинен бути в межах 15,0 – 18,0 %. Для досягнення цього результату матеріал піддають відповідному замочуванню протягом 4 – 5 годин.

Використання першого методу супроводжується низкою недоліків: тривалий час обробки, вимоги до спеціального обладнання, що вимагає великого простору. Крім того, соєві боби можуть збільшуватися в розмірах, знижуючи продуктивність переробної лінії.

Цей підхід раніше вже був використаний, як зазначено в [13].

Метод нанесення вологи на поверхню сировини

Нанесення води на поверхню зернового матеріалу під час гідротермічної обробки є ще одним відомим методом, який покращує процес масопереносу вологи і допомагає запобігти гідравлічному удару при введенні тепла в зерно [26].

Однак до цього часу цей метод не використовувався в техніці підготовки до подальшої ІЧ-обробки сої.

Цей процес здійснюється за допомогою розпилювача, який дозволяє наносити воду на поверхню матеріалу у вигляді дрібного "пилу". Це забезпечує рівномірне змочування сої та усуває необхідність механічного видалення надлишків води.

Обчислення кількості вологи, що наноситься на поверхню, в залежності від початкового вмісту вологи в соєвих бобах проводилося згідно з:

$$q_{\text{води}} = \frac{Q \cdot (W_k - W_h)}{100 - W_h}, \quad (3.2)$$

де $q_{\text{води}}$ – витрата води, л/год;

Q – продуктивність лінії з переробки соєвих бобів, кг/год;

W_k – початкова вологість зерна, %;

W_h – кінцева вологість зерна, %.

У роботі висунута пропозиція щодо апаратного оформлення процесу зволоження сировини, включаючи в схему шнековий транспортер, який рівномірно розподіляє воду на поверхню сої і вбирає її насінневою оболонкою, збільшуючи вміст вологи. Після цього сировина поступає до приймального бункера ІЧ-установки і перебуває там протягом 3 – 5 хвилин.

Загальний час, необхідний для підготовки сої до ІЧ-обробки, становить 10 – 15 хвилин. Цей час необхідний для розподілу води в насінній оболонці та об'єднання молекул води в насінній оболонці з молекулами води в капілярах ядра. Цей процес дозволяє транспортувати воду в ядро без гідравлічного удару, використовуючи явища тепло- і вологопровідності, які виникають в результаті сильного нагрівання матеріалу під впливом інфрачервоного випромінювання.

Транспортер із зволожуючим шнеком оснащений водяною станцією, яка забезпечує точне дозування потрібної кількості води, необхідної для зволоження вихідної сировини.

Оскільки в роботі відсутні дані про оптимальну кількість води, що вноситься поверхнево, був проведений експеримент. У цьому експерименті до зразків сої з початковою вологістю 9,0 %, 12,0 %, 15,0 % і 18,0 % додавали різну кількість води (від 2,0 % до 8,0 %). Потім моделювався процес перемішування на гвинтовому конвеєрі та осідання в приймальному бункері ІЧ-установки. Потім

зразки піддавали ІЧ-нагріванню протягом 50 с, після чого вимірювали поверхневу та середньозважену температуру. Аналіз табличних даних (див. табл. 3.2 і 3.3) дозволяє зробити наступні висновки:

- введення поверхневої вологи сприяє більш рівномірному прогріванню сої під час інфрачервоної обробки (різниця між температурою поверхні та середньозваженою температурою обробленого зразка насіння сої залишається в межах 5 – 15 °С).

- виявлено зразки з найменшою різницею в температурі нагрівання між поверхнею і цілим зерном. Для кожної початкової вологості бобів сої існує оптимальний рівень поверхневого зволоження (9,0 % вологи – 4 – 6 % вологи; 12,0 % вологи – 2 – 4 % вологи; 15,0 % вологи – 2 % вологи; 18,0 % вологи – менше 2 % вологи).

Таблиця 3.2 – Вплив початкової вологості та поверхневого нанесення води на насіння сої на зміну температури поверхні під час інфрачервоного нагрівання сировини (50 с обробки).

| Кількість поверхневої води, % | Поверхнева температура ІЧ-нагріву, °С | | | |
|-------------------------------|---------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | <i>W</i> = 9,0 % | <i>W</i> = 12,0 % | <i>W</i> = 15,0 % | <i>W</i> = 18,0 % |
| Без нанесення | 145 | 140 | 130 | 125 |
| 2 | 135 | 125 | 120 | 117 |
| 4 | 125 | 120 | 115 | 115 |
| 6 | 120 | 118 | 115 | 110 |
| 8 | 118 | 118 | 111 | 106 |

Таблиця 3.3 – Вплив початкової вологості та поверхневої вологості насіння сої на зміну середньозваженої температури під час інфрачервоного нагрівання сировини (50 с обробки).

| Кількість поверхневої води, % | Середньозважена температура ІЧ-нагріву, °С | | | |
|-------------------------------|--|-------------------|-------------------|-------------------|
| | <i>W</i> = 9,0 % | <i>W</i> = 12,0 % | <i>W</i> = 15,0 % | <i>W</i> = 18,0 % |
| Без нанесення | 130 | 125 | 118 | 110 |
| 2 | 120 | 115 | 112 | 108 |
| 4 | 118 | 115 | 101 | 100 |
| 6 | 112 | 105 | 100 | 100 |
| 8 | 107 | 105 | 100 | 95 |

Таким чином, впроваджене апаратне рішення дозволяє досягти температури 120 °С за короткий час. Зокрема, етап додавання поверхневої вологи до сої допомагає зменшити різницю між температурою поверхні та середньозваженою температурою до 5 – 10 °С, тим самим уникаючи обпалення зовнішнього шару матеріалу.

3.3 Підбір критеріїв для оцінки якості соєвих бобів під час проведення ІЧ-обробки

Для визначення основних критеріїв оцінки було враховано низку факторів, що впливають на біохімічні, фізико-хімічні та функціонально-технічні властивості соєвих бобів під час ІЧ-обробки (початкова вологість і вологість перед ІЧ-обробкою, швидкість нагрівання бобів, час нагрівання, кінцева температура, тривалість нагрівання та кінетика нагрівання).

Одним з важливих показників якості готового соєвого продукту є зниження вмісту інгібітора трипсину до безпечного рівня.

Крім того, найкращим варіантом вважається той, в якому загальний вміст білка в соєвих бобах після ІЧ-обробки та його амінокислотний склад залишаються незмінними порівняно з вихідною сировиною. Що стосується ліпідних комплексів, важливо максимально зберегти триацилгліцерини, які є більш стабільними під час зберігання, ніж вільні жирні кислоти. Триацилгліцерини

більш стабільні під час зберігання, ніж вільні жирні кислоти. Останні найбільш схильні до окислення, що може призвести до втрати біологічної цінності та погіршення споживчих якостей продукту.

З літератури [15] відомо, що зменшення кількості інгібітору трипсину під час ІЧ-обробки сої прямо корелює з уреазною активністю. Оскільки вимірювання уреазної активності є простішим завданням, були проведені експерименти з визначення оптимального режиму ІЧ-обробки, який би гарантував стандартний показник безпеки (кількість інгібітору трипсину), використовуючи цю уреазну активність як еталонний показник.

3.3.1 Вплив режиму термообробки на активність уреаз

У дослідженні використовували соєві боби з початковою вологістю 9 %, 12 %, 15 % та 18 %. Зразки з вологістю 9% і 12% були покриті на поверхні 4% води від ваги соєвих бобів, тоді як зразки з вологістю 15% і 18% були покриті 2% води. Зразки нагрівали протягом 40, 50, 60, 70 і 80 секунд. В якості контролю використовували вихідні соєві боби без будь-якої обробки.

У таблиці 3.4 показано зміну рівня активності уреаз залежно від початкової вологості та режиму інфрачервоного нагрівання соєвих бобів.

Зі збільшенням часу ІЧ-обробки активність уреаз в соєвих бобах знижується; згідно з вимогами ДСТУ, безпечний рівень активності уреаз в кінцевому продукті не повинен перевищувати 0,2 одиниці рН.

Інфрачервоне нагрівання зразків з вологістю 9 – 12 % протягом 70 – 80 с і нагрівання зразків сої з вологістю 15 – 18 % протягом 80 с відповідало необхідним значенням; 60 с інфрачервоного дрібнодисперсного подрібнення і середньозважена температура 115 – 120 °С не знизили уреазну активність до необхідних значень.

Таблиця 3.4 – Зміна активності уреазы залежно від початкової вологості та режиму інфрачервоного нагрівання соєвих бобів.

| Час ІЧ-обробки, с | Активність уреазы, од. рН | | | |
|-------------------|---------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | <i>W</i> = 9,0 % | <i>W</i> = 12,0 % | <i>W</i> = 15,0 % | <i>W</i> = 18,0 % |
| Без обробки | 1,87 | 1,75 | 1,90 | 1,92 |
| 40 | 1,61 | 1,55 | 1,74 | 1,71 |
| 50 | 0,53 | 0,45 | 0,48 | 0,50 |
| 60 | 0,33 | 0,30 | 0,36 | 0,31 |
| 70 | 0,15 | 0,22 | 0,34 | 0,30 |
| 80 | 0,05 | 0,10 | 0,10 | 0,12 |

Як вже було вказано, ІЧ-обробка тривалістю 70 – 80 секунд супроводжується перегріванням зовнішніх шарів соєвих бобів, що виявляється підняттям температури до значень в межах 140 – 160 °С.

Таким чином, було виявлено, що мікронізація сама по собі не може вирішити проблему зниження рівня уреазної активності.

Також були розглянуті варіанти подальшого регулювання маси сої, обробленої ІЧ-випромінюванням, у майбутньому.

Для досягнення цієї мети зразки були підготовлені з сирого зерна з вологістю 9 %, 12 %, 15 % і 18 %. До перших двох зразків було додано 4 % поверхневої води, а до останніх двох – 2 %. Потім підготовлені зразки були прогріті протягом 3, 5, 7 і 10 хвилин в термоізолюваному контейнері після 60 і 50-секундного тонкого подрібнення, поки середньозважена температура не досягла 105 – 120 °С (таблиця 3.5).

В результаті додаткового термічного оброблення ІЧ-піддані зразки сої протягом визначеного періоду досягають встановленого рівня залишкової активності уреазы.

Тому для зразків, оброблених атомізацією протягом 60 секунд, рекомендується мінімальний температурний час в діапазоні 3 – 5 хвилин, а для зразків, оброблених протягом 50 секунд, - не менше 5 – 7 хвилин.

Таким чином, на основі проведених досліджень визначено оптимальний режим термообробки в модернізованому обладнанні УТЗ-4М, що забезпечує отримання соєвих бобів із залишковою уреазною активністю, яка не перевищує референтне значення.

Таблиця 3.5 – Вплив температурного режиму і тривалості темперування на активність уреазу

| Час темперування, хв | Активність уреазу в зразках ІЧ-обробленої сої, од. рН | | | | | | | |
|----------------------|---|------------|------------|------------|------------------|------------|------------|------------|
| | Час обробки 60 с | | | | Час обробки 50 с | | | |
| | W = 9,0 % | W = 12,0 % | W = 15,0 % | W = 18,0 % | W = 9,0 % | W = 12,0 % | W = 15,0 % | W = 18,0 % |
| Без темперування | 0,32 | 0,31 | 0,35 | 0,32 | 0,52 | 0,44 | 0,47 | 0,51 |
| 3 | 0,22 | 0,21 | 0,22 | 0,21 | 0,32 | 0,29 | 0,31 | 0,36 |
| 5 | 0,19 | 0,16 | 0,18 | 0,17 | 0,21 | 0,21 | 0,20 | 0,23 |
| 7 | 0,13 | 0,12 | 0,15 | 0,13 | 0,17 | 0,16 | 0,18 | 0,18 |
| 10 | 0,06 | 0,05 | 0,06 | 0,06 | 0,095 | 0,11 | 0,095 | 0,095 |

3.3.2 Вплив режиму термообробки на білкові комплекси в соєвих бобах

У літературі є інформація про вплив режимів ІЧ-обробки на білкові комплекси зернових культур [32]. Відзначено, що глибина змін у білкових комплексах варіюється між різними типами культур, такими як пшениця, жито та ячмінь [33]. Однак не вдалося знайти літературних даних про вплив параметрів розмелювання на зміни білкових комплексів у сої.

На початковому етапі дослідження було проаналізовано вплив вихідної вологості сої на вміст загального білка, водорозчинного та розчинного білка. Це проводилося при використанні режимів термообробки, які були вибрані на основі результатів аналізу у попередньому відділі.

Як видно на рис. 3.7, хоча загальний вміст білка залишається незмінним, ІЧ-обробка супроводжується значущим зменшенням вмісту водорозчинного і розчинного білка. Примітно, що швидкість зниження останнього відносно початкового вмісту в сировині для сої більша, ніж для зернових культур. Це, ймовірно, пов'язано з особливостями фракційного складу соєвих білків, в яких за

кількістю переважають альбуміни (17,9 %), глобуліни (49,5 %) та глютеліни (24,0 %) [18].

Отримані дані (рис. 3.7) відповідають вже визначеним закономірностям для злакових культур, де водорозчинні білки є найбільш термолабільними. Водночас, відсоток зменшення фракцій білків для сої виявляється більш істотним, порівняно з пшеницею, житом та іншими культурами.

Це може бути пов'язано з хімічним складом сої, тобто відсутністю крохмалю і високим вмістом білка. Вважається, що крохмаль певною мірою перешкоджає денатурації білка при високих температурах.

Однак втрата розчинності білків у сировині не обов'язково означає, що їх біологічна цінність знижується. Навпаки, в літературі є дані [6] про підвищення чутливості ферментів до денатурованих білків.

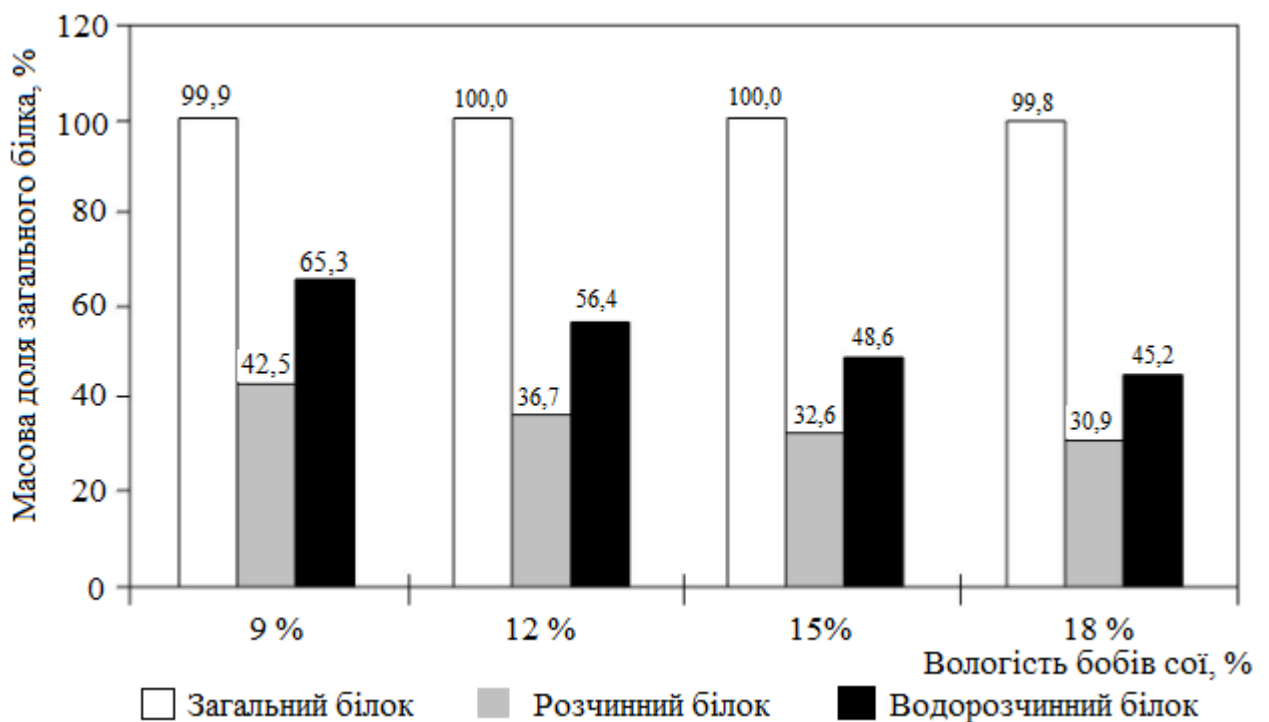


Рисунок 3.7 – Вплив вологості сої на зміни білкових комплексів зерна під час інфрачервоного нагрівання за температури 140 °С

На наступному етапі аналізу було визначено амінокислотний склад контрольного зразка та двох досліджуваних зразків.

Дані щодо амінокислотного складу представлені в таблиці 3.6. З незамінних амінокислот виявлено високий вміст лізину (в 10 разів), валіну (в 1,5-2 рази) і треоніну (в 2-5 разів), тоді як вміст глютамінової кислоти (в 2-3 рази) був нижчим, ніж у таких зернових, як пшениця і кукурудза [5].

ІЧ-обробка та подальше загартовування соєвих бобів обраним способом не має негативного впливу на амінокислотний склад вихідного білка. Загальний вміст амінокислот у досліджуваному зразку залишається на рівні контрольного зразка, хоча спостерігається певний перерозподіл між окремими амінокислотами.

Таблиця 3.6 – Амінокислотний склад соєвого білка (г/100 г)

| Найменування амінокислоти | Контроль | Дослідні зразки | |
|---------------------------|----------|-----------------|-----------------------------|
| | | Мікронізація | Мікронізація + темперування |
| Треонін | 2,32 | 2,09 | 2,18 |
| Серін | 2,22 | 2,73 | 2,18 |
| Глютамінова кислота | 5,55 | 5,51 | 5,56 |
| Пролин | 1,66 | 1,96 | 1,51 |
| Гліцин | 1,99 | 2,01 | 2,03 |
| Аланин | 1,78 | 1,86 | 1,34 |
| Цистин | 0,49 | 0,61 | 0,57 |
| Валін | 1,35 | 1,13 | 1,81 |
| Метіонін | 0,58 | 0,56 | 0,51 |
| Ізолейцин | 2,83 | 2,58 | 2,29 |
| Лейцин | 2,26 | 2,34 | 2,81 |
| Тирозин | 1,11 | 0,72 | 0,46 |
| Фенілаланін | 0,50 | 0,26 | 1,14 |
| Лізін | 2,41 | 2,011 | 2,35 |
| Гістидин | 0,63 | 1,011 | 0,59 |
| Аргінін | 2,72 | 2,55 | 2,81 |
| Сума амінокислот | 30,29 | 29,82 | 30,03 |

3.3.3 Вплив обробки соєвих бобів інфрачервоним випромінюванням на структуру ліпідного комплексу сої

Ліпіди в соєвих бобах становлять від 20 до 25% від сухої маси. Загалом відомо [5], що ліполітичні ферменти у сої, особливо ліпаза і ліпоксигеназа, проявляють високу активність і сприяють гідролізу жирів з утворенням несмачних та запахових сполук. Ці продукти можуть мати канцерогенний ефект в окремих випадках. Ферментативні процеси, які відбуваються, також можуть погіршувати якість сировини, особливо з точки зору її зберігання.

Коректна теплова обробка може сприяти стабілізації ліпідного комплексу бобів шляхом інактивації ліполітичних ферментів та зниження кислотного та йодного чисел у олії.

Кислотне число, яке вказує на вміст вільних жирних кислот в олії, є важливим показником якості олії та її придатності в якості харчового продукту. Збільшення кількості вільних жирних кислот в олії свідчить про погіршення якості. Це може бути пов'язано з деградацією молекул триацилгліцерину в умовах зберігання або внаслідок гідролізу ліпазами.

Під час проведення аналізу складу ліпідів у соєвих бобах використовувалася партія насіння з вмістом вологи на рівні 9,0% та кислотним числом соєвої олії, що становило 0,4 мг КОН/г. Були проведені експериментальні дослідження, в рамках яких насіння сої піддавалося зволоженню до вологості 15,0 %, а потім проходило ІЧ-обробку при різних температурах (при цьому визначалася поверхнева температура): 80 °С, 100 °С, 120 °С, 140 °С і 160 °С.

Отримано низку зразків, включаючи контрольний (без ІЧ-обробки) і дослідні з позначеннями Д₁, Д₂, Д₃, Д₄ і Д₅, які були піддані процесу мікронізації при температурах 80 °С, 100 °С, 120 °С, 140 °С і 160 °С. Також були виготовлені дослідні зразки Д_{1*}, Д_{2*}, Д_{3*}, Д_{4*} і Д_{5*}, які проходили мікронізацію при тих же температурах, але додатково піддавались темперуванню протягом 5 – 7 хвилин.

Зразки, отримані після проведення процедури, були збережені протягом одного місяця при температурі навколишнього середовища, приблизно 25 °С. Основною метою цього етапу є визначення активності ліпази у соєвих бобах.

Під час зберігання зразка соєвих бобів з вологою в сировині виявлено, що відбуваються ферментативні процеси гідролізу жиру за участю ліпази, що призводить до нагромадження вільних жирних кислот. Контрольний зразок відзначається збільшенням кислотного числа від початкових 0,4 мг КОН/г олії до 1,2 мг КОН/г олії.

Також було виявлено, що при нагріванні насіння сої за температури нижче 80 °С (експериментальний зразок Д₁) значення кислотності помірно зростало порівняно з контрольним зразком (рис. 3.8). Ймовірно, це може бути пов'язане з активацією ліпази у насінні сої під впливом інфрачервоного випромінювання при "м'яких" температурних режимах (де середньозважена температура нагрівання сої складає близько 55-60 °С).

Багато дослідників вже відзначили, що температура активує ферменти [2].

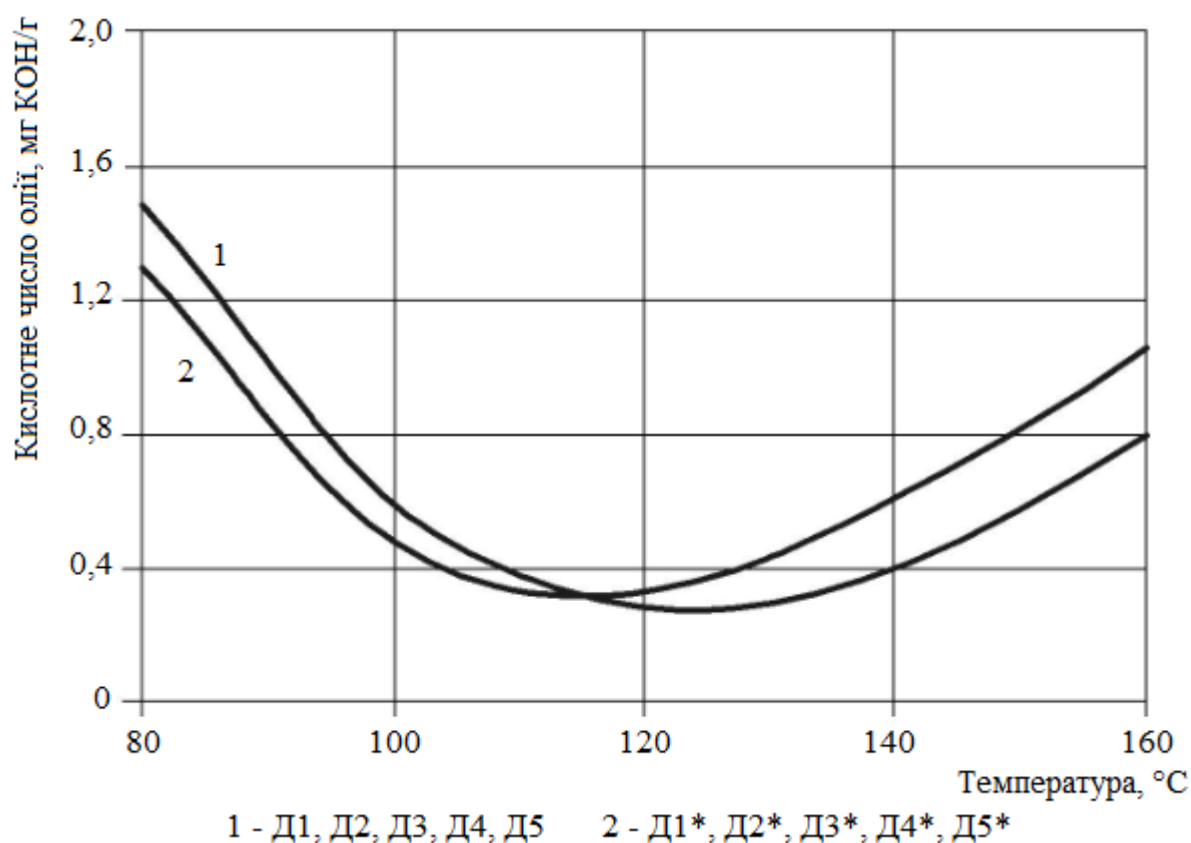


Рисунок 3.8. – Вплив температури ІЧ-обробки насіння сої на показник кислотного числа олії

Проведеної ГЧ-обробки соєвих бобів приблизно при 100 °С недостатньо для повного відключення ліпази сировини, хоча збільшення кислотності значно менше, ніж у контрольному зразку.

Соєві боби, які були оброблені ГЧ при температурі 120 – 140 °С, виявились оптимальними дослідними зразками, оскільки під час зберігання не спостерігалось збільшення кислотного числа.

Більш інтенсивна обробка сировини при вищій температурі (160 °С) призводить до збільшення кислотного числа, але цей ефект не може бути пояснений активністю ліпази. При підвищених температурах відбувається окислювальне руйнування соєвої олії, яка містить велику кількість ненасичених жирних кислот. Процес відбувається за радикальним механізмом, де на першому етапі утворюються перекисні і гідроперекисні сполуки, які, розкладаючись, переходять в спирти, кетони і карбонові кислоти. Присутність останніх призводить до збільшення кислотного числа у збережених зразках.

При темперуванні соєвих бобів після інфрачервоної обробки форма кривої практично залишається незмінною. Проте фактичні значення кислотного числа при температурах інфрачервоного нагріву до 120 °С свідчать про тенденцію до зменшення, у той час як при вищих температурах спостерігається збільшення цього показника.

Наступним етапом був аналіз впливу температури та завершальний етап інфрачервоного нагрівання протягом 5 – 7 хвилин на ліпоксигеназну активність соєвих бобів. Цей фермент виконує процес окислення жирних ненасичених кислот за наявності кисню до утворення пероксидів (перекисів). Головним субстратом для ліпоксигенази є лінолева і ліноленова кислоти та їх ефіри. Згідно з інформацією, що міститься в літературі, приблизно половина загальної кількості лінолевої кислоти та 10 % ліноленової кислоти містяться в соєвій олії [5].

Подальший розпад перекисів жирних кислот призводить до утворення альдегідів, що спричиняє неприємний запах і смак жиру [15].

Зміну активності ліпоксигенази в соєвих бобах оцінювали за йодним числом, що вказує на вміст ненасичених кислот у жирі.

Графік на рисунку 3.9 відображає зміну йодного числа у контрольних та експериментальних зразках соєвих бобів при різних температурах ІЧ-нагріву та наступному темперуванні.

У початковому зразку соєвих бобів визначено йодне число на рівні 125 г J2/100 г соєвої олії. Після зберігання протягом 1 місяця у контрольному та експериментальних зразках соєвих бобів (01 і 02), йодне число зросло до 207,178 г J2/100г олії та 137 г J2/100г олії відповідно.

Встановлено, що ліпоксигеназа не виявляє активуючого ефекту, який раніше спостерігався для ліпази при "м'якому" режимі інфрачервоної обробки. Із відомостей літературних джерел [5] стає відомо, що підігрівання насіння може сприяти активації ліпоксигенази в діапазоні температур від 60 до 80 °С. Необхідно підкреслити, що ці відомості отримані в процесі вивчення параметрів сушіння насіння, при цьому тривалість процесу сушіння виявила суттєвий вплив на активність ліпоксигенази.

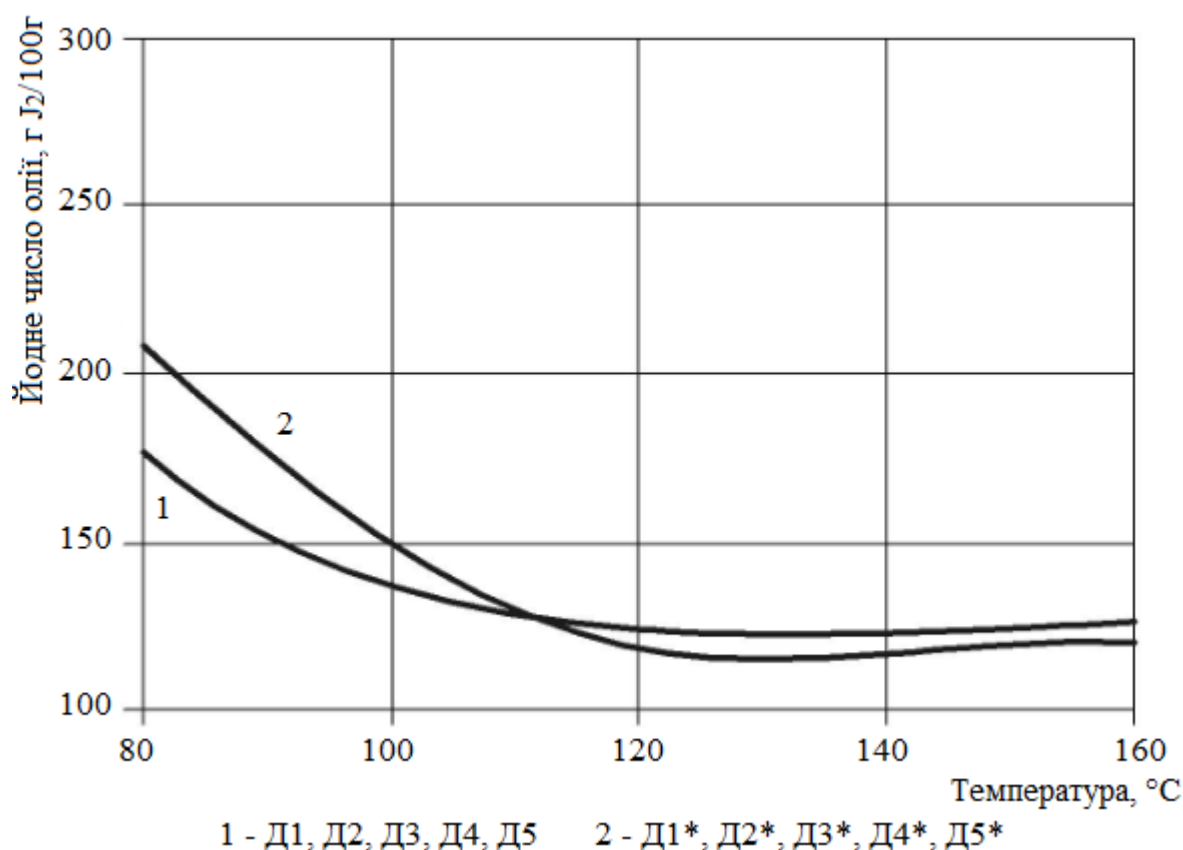


Рисунок 3.9 – Вплив температури інфрачервоної обробки сої на йодне число олії

Зразки, піддані інфрачервоному нагріванню при 140 – 160 °С, показують значення йодного числа вище, ніж у вихідному зразку. Цей висновок ймовірно пов'язаний не з активністю ферменту ліпоксигенази, а, ймовірно, з термічним розкладанням ліпідів та утворенням перекисів і альдегідів.

Зразок соєвих бобів 01, що пройшов ІЧ-обробку при температурі 80 °С та додаткове темперування, відзначається невеликим збільшенням йодного числа до рівня 228 г I₂/100 г соєвої олії, що може бути пов'язано з активацією ліпоксигенази.

Мікронізація сировини при температурах 120 °С і вище, включаючи наступне темперування, призводить до повної інактивації ліпоксигенази. Значення йодного числа для цього зразка знаходиться на рівні аналогічного контрольного зразка і становить 118 – 125 г I₂/100 г олії.

Отже, встановлені оптимальні параметри мікронізації та подальшого темперування сприяють стабілізації ліпідного комплексу соєвих бобів.

3.3.4 Вплив параметрів інфрачервоної обробки соєвих бобів на мікробіологічні показники зерна

Відомо, що головним джерелом забруднення зерна мікрофлорою є ґрунт, а серед додаткових факторів слід виділити вплив вітру, опадів, комах та птахів. Якщо зерно має непошкоджену оболонку та страждає від недостачі поживних речовин і вологості на поверхні, то можуть розвиватися лише епіфітні (зовнішні) мікроорганізми. Ці мікроорганізми не проникають в тканини рослин, не впливають негативно на їхній розвиток і переважно розташовані у зовнішніх шарах зерн. Кількість та видовий склад мікрофлори в зерні залежать від температури та вологості оточуючого середовища на стадіях вирощування, збирання та зберігання врожаю.

Значущу роль у збільшенні мікробного заселення зерна відіграють його механічні ушкодження. Пошкодження цілісності оболонкових тканин зернівки призводить до підвищення загального вмісту бактерій і грибів в ньому, а також сприяє проникненню мікроорганізмів у внутрішній шар зерна, зокрема в

алейроновий шар і ендосперм. Це призводить до зростання кількості внутрішньої мікрофлори, зокрема субепідермальної.

Загалом більшість мікроорганізмів, які присутні в зерновій сировині, є шкідниками сільського господарства. Таким чином, основною метою технологічних етапів є зниження впливу цих мікроорганізмів, а в оптимальних випадках, повне їх виключення для підтримки ефективного процесу.

У даному дослідженні було проведено аналіз впливу режимів ІЧ-нагріву на мікробіологічні характеристики соєвих бобів. У якості контролю використовувалися зразки вихідних соєвих бобів без будь-якої обробки та тих, які були піддані конвективному нагріванню.

Як зазначено у таблиці 3.7, за впливу конвективного нагрівання мікроорганізми, такі як міцеліальні гриби, паличкоподібні неспороутворюючі і спороутворюючі бактерії, піддаються лише частковому знищенню.

Таблиця 3.7 – Вплив методів теплової обробки соєвих бобів на мікрофлору зерна

| Спосіб нагріву | ОМЧ, тис. КУО/г | Бактерії, тис. КУО/г | | | Гриби, тис. КУО/г |
|------------------------|-----------------|----------------------|------------------|----------------|-------------------|
| | | Коки | Неспороутворюючі | Спороутворюючі | |
| Без обробки | 677 | 136 | 274 | 206 | 61 |
| Конвективне нагрівання | 187 | - | 25 | 142 | 20 |
| ІЧ-нагрівання | 10 | - | - | 10 | - |

У порівнянні із ІЧ-нагріванням, де бактерії залишаються у невеликих кількостях (лише ті, що утворюють спори), метод конвективного нагріву проявляє меншу ефективність. Перевага ІЧ-обробки над конвекційним нагріванням зерна може бути зумовлена низкою факторів.

Передусім, механізм знищення мікроорганізмів під впливом інфрачервоного випромінювання може бути пояснений тим, що їх поглиблення на резонансній частоті енергії зовнішнього електромагнітного поля є достатнім для нагрівання

клітини мікроорганізму через її обмежені розміри в порівнянні з клітиною рослин. У цьому випадку зерно нагрівається значно менше (до 130 °С).

Вдруге, під час інфрачервоного опромінення мікроорганізми відчувають «термічний шок», що означає миттєве (не більше хвилини) нагрівання всієї маси зерна до 130 °С. У процесі повільного нагріву адаптивні можливості мікробної клітини реалізуються більш ефективно.

Відомо, що стійкість мікроорганізмів до високих температур визначається структурою клітини і залежить в основному від стану і швидкості метаболізму мембран, рибосом і окремих білків. На основі наших досліджень та результатів попередніх досліджень можна зазначити, що інфрачервона обробка впливає на структуру білків у зерні, спричиняючи суттєві зміни, включаючи денатурацію окремих фракцій білкових сполук і зменшення розчинності білків [32].

В третю чергу, під час ІЧ-обробки зерна спостерігаються наступні явища. Волога, яка рівномірно розподілена в об'ємі зерна, починає переміщуватися до центру зерна через капіляри та пори, тобто в напрямку теплового потоку. Через те, що цей процес відбувається досить швидко, переміщена волога не має достатнього часу для випаровування. При збільшенні температури відбувається випаровування вологи, і пара накопичується в мікрокапілярах і порах зерна. Додаткове підвищення температури сприяє збільшенню тиску водяної пари всередині зерна [24].

У той самий час важливо відзначити, що вплив тиску відрізняється від впливу температури. Багато реакцій, що відбуваються в живих організмах під впливом тиску, пояснюються змінами швидкостей біохімічних процесів, а не впливом цього фактору на процеси рівноваги.

Організми завжди перебувають у стані непостійної термодинамічної рівноваги, і взаємодія між клітиною та навколишнім середовищем призводить до постійного обміну енергії та різних речовин. Крім того, всі внутрішньоклітинні біохімічні реакції взаємопов'язані високо складним чином, і кожна реакція в певній мірі залежить від інших реакцій. Точно через такий вплив тиск виявляє досить складну природу на швидкості внутрішньоклітинних реакцій.

3.4 Способи використання термооброблених соєвих бобів

На сьогодні соєві боби (не знежиреної сої) використовуються як корм для худоби, вони служать наповнювачем і базою для виробництва вітамінів, антибіотиків та інших лікарських препаратів. Також їх використовують у формі борошна в хлібобулочній та кондитерській промисловості. Обсмажені боби застосовуються у виробництві бісквітів, цукерок, кави та дієтичних продуктів.

Отримання усіх зазначених продуктів передбачає передпроцесуальну термічну обробку через високий вміст антипоживних речовин у соєвих бобах.

Виготовлення соєвого білка та олії - це індивідуальні технології, які не розглядаються в даному дослідженні.

Розроблений новий метод термічної обробки сої дозволяє отримати наступні продукти:

1. зберігається цілісність термічно обробленої сої
2. соєве борошно та крупи, отримані з термічно обробленої сої.

Вказані продукти можуть бути використані у галузі харчової промисловості та сільському господарстві як готовий продукт або як компоненти. Схема отримання цих продуктів з термооброблених соєвих бобів представлена на рисунку 3.10.

Жоден із наявних методів теплової обробки соєвих бобів не забезпечує отримання кінцевого продукту, не порушуючи зовнішню оболонку [31]. Це призводить до скорочення терміну зберігання та погіршення споживчих характеристик продукту, перш за все через пошкодження цілісності структурних компонентів, таких як ліпідні капсули жиру.

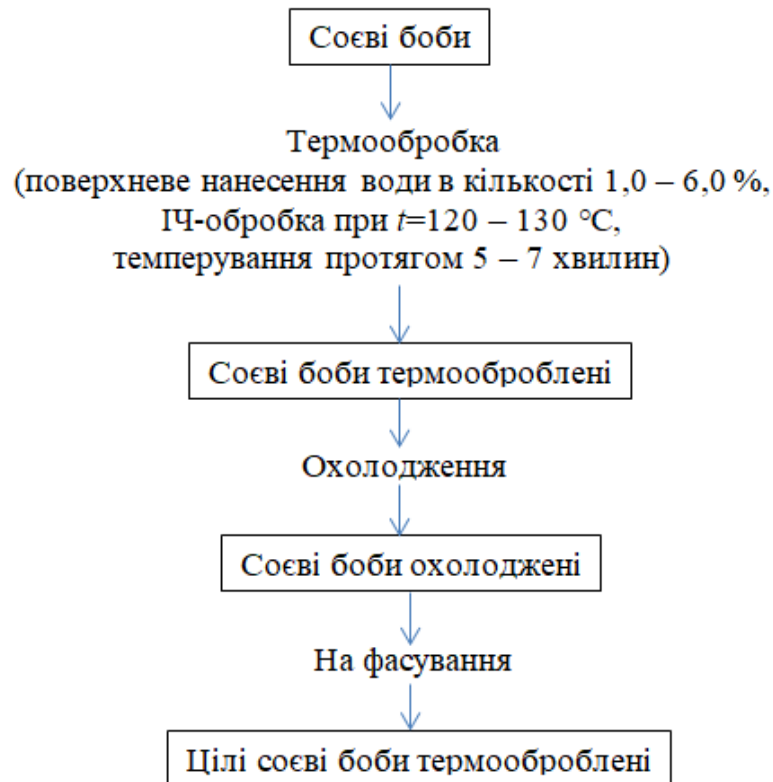


Рисунок 3.10 – Принципова схема отримання продуктів з бобів сої, які пройшли термообробку

Висновки за розділом

У цьому розділі дипломної роботи ми виявили відмінності у характері термічної обробки злакових і бобових культур. Ці відмінності проявляються у більшій нерівномірності прогрівання сої порівняно з пшеницею під час ІЧ-обробки сировини на ІЧ-установці УТЗ-4.

Було виявлено, що обробка бобів сої на ІЧ-установці УТЗ-4 не дозволяє досягти потрібної середньозваженої температури без "обгоряння" поверхні сировини. Це важливо для зменшення вмісту антипоживних речовин у сої до безпечного рівня.

Було проаналізовано, як вологість соєвих бобів і температури ІЧ-обробки впливають на зміну біохімічних показників сої на модернізованій ІЧ-установці, і визначені оптимальні режими ІЧ-нагріву сировини.

Виявлено, що включення лише етапу ІЧ-нагріву в технологічний процес термообробки сої не призводить до зниження вмісту уреазу до нормативного рівня. Ми пропонуємо додатковий етап – температуру, і обґрунтовано визначено його тривалість.

Визначений оптимальний режим термообробки (застосування поверхневого зволоження в кількості 4,0 – 6,0 %, нагрів при температурі ІЧ у межах 120 – 130 °С, та температуру тривалістю 5 – 7 хвилин) дозволяє підвищити ферментативну чутливість білків сої на 2,5 – 3,0 рази, що призводить до поліпшення засвоєння готових продуктів. Також цей режим сприяє стабілізації ліполітичного комплексу сировини, що включає в себе зменшення активності ліпази і ліпоксигенази.

Встановлено, що використання методу ІЧ-обробки соєвих бобів є ефективним методом підвищення мікробіологічної чистоти сировини, оскільки це призводить до значного (в десятки разів) зменшення вмісту зовнішньої мікрофлори в ній.

4 ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

4.1 Розробка апаратно-технологічної схеми виготовлення продуктів з соєвих бобів, підданих ІЧ-обробці

Загальна схема виробництва термічно оброблених соєвих бобів показана на рисунку 4.1.

Відповідно до процесу, зображеного на схемі, соєві боби, які доставляються транспортним засобом і вивантажуються авторозвантажувачем, спочатку подаються в бункер (1) для завантаження неочищеного зерна. З цього бункера соєві боби стрічковим транспортером (2) направляються на гравітаційний зерновий сортувальник SZG-25 (3), а потім в бункер чистого зерна (4). Потім соєві боби проходять через шнековий дозатор (5) на зволожувальний шнековий транспортер (6), де через розпилювачі в системі зволоження (7) на соєві боби наноситься певна кількість води. Зволожені боби сої подаються в накопичувальний бункер інфрачервоної установки УТЗ-4М (8). Після термічної обробки соя загартовується в прогрівальному бункері (9) протягом 5 – 7 хвилин, де відбуваються значні біохімічні зміни. Після теплової обробки соя, що пройшла через дозуючий шнековий пристрій, подається на стрічковий транспортер, який направлений до охолоджувача (10). Після охолодження соєві боби транспортуються на стрічковому конвеєрі, який приводить їх до проміжного бункера. З цього бункера, за допомогою дозуючого шнекового пристрою, соєві боби направляються на пакувальний автомат.

Розроблений спосіб обробки бобів сої інфрачервоним випромінюванням рекомендовано до впровадження на підприємстві ТОВ "ТОРГОВА КОМПАНІЯ ЕКОНА", м. Дніпро, яке спеціалізується на переробці соєвих бобів.

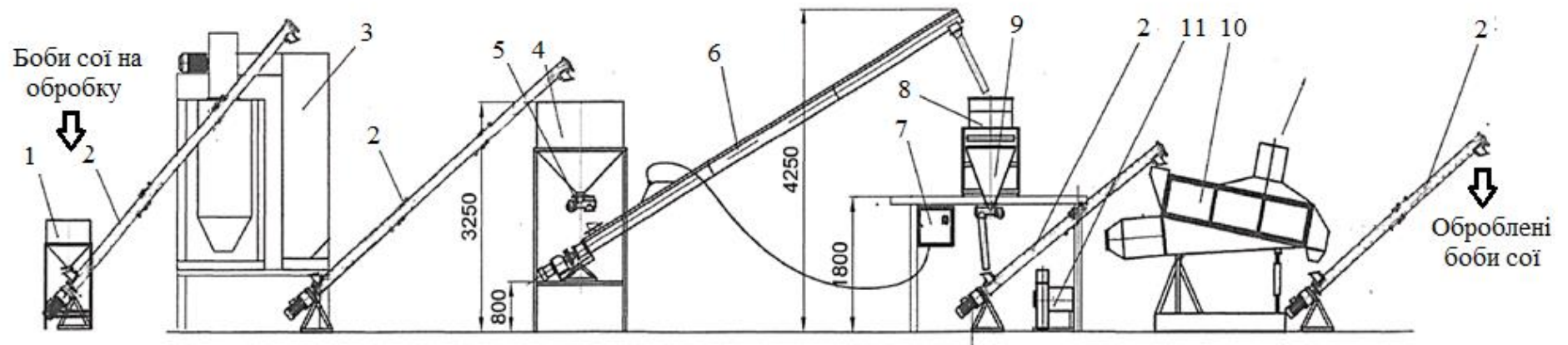


Рисунок 4.1 Апаратно-технологічна схема процесу отримання термооброблених соєвих бобів у цілісному вигляді

4.2 Показники якості та функціональні характеристики термічно обробленої сої

Одержані продукти з термооброблених соєвих бобів, виготовлені згідно з вищезазначеною апаратно-технологічною схемою, були оцінені за рядом показників, які визначають їх якість.

Опис властивостей соєвих бобів після термообробки наведений у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Характеристика соєвих бобів після термообробки

| Показник | Не оброблені соєві боби | Оброблені соєві боби |
|---|-------------------------|---------------------------|
| Колір | Світло-жовтий | Світло-коричневий |
| Запах | Нейтральний | Приємний, слабо-горіховий |
| Форма | Кругла | Кругла |
| Активність уреазі, од. рН | 1,92 | 0,12 |
| Розчинний протеїн, % | 97,69 | 41,6 |
| Перетравлюваний білок, % | 25,5 | 95,3 |
| Жир, % | 17,3 | 17,2 |
| Кислотне число олії, мг КОН/г | 0,41 | 0,38 |
| Йодне число олії, г J ₂ /100 г | 125,1 | 124,6 |
| Олігосахариди, % | 1,453 | 1,135 |
| Стахіоза | 4,864 | 2,913 |

З'ясовано, що продукти, отримані з соєвих бобів після етапу ІЧ-обробки, виявляють значно кращі якісні характеристики порівняно з продуктами вихідних соєвих бобів.

Термообробка соєвих бобів, водночас, дозволяє зменшити рівень активності уреазі до залишкового значення. При цьому показники перетравного протеїну зросли в 3,5 – 4,0 рази.

Висновки за розділом

Створено апаратно-технологічну схему для отримання соєвих бобів, які пройшли процедури інфрачервоного опромінення та темперування.

Виконано порівняльний аналіз якісних характеристик соєвих бобів, підданих обробці за розробленим методом, у порівнянні з існуючими методами.

Розроблено і висунуто новий метод обробки соєвих бобів, використовуючи інфрачервоний енергопідвод, з метою отримання різних соєвих продуктів для їх подальшого використання в харчовій та комбикормовій промисловості.

Представлений метод може бути висунутий для практичного застосування на існуючому виробничому підприємстві ТОВ «ТОРГОВА КОМПАНІЯ ЕКОНА», спеціалізованому на виробництві кормових продуктів на основі сої.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

5.1 Розробка карти з безпеки праці

Під час розробки карти безпеки праці (рис. 5.1) нами було враховано всі особливості та умови роботи оператора установки ІЧ-опромінення для сушіння харчових продуктів.

| | |
|---|---|
| <i>I. Загальна інформація</i> | |
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Вимоги картки поширюються на всіх працівників всіх підрозділів; 2. Термін дії картки: 5 років (до 05.06.2028); 3. Проходження інструктажу працівником: кожні 6 місяців; 4. Відповідальність за невиконання положень цієї картки: дисциплінарна, матеріальна, адміністративна, кримінальна; 5. До роботи допускаються особи, яким не менше 18 років та які мають відповідну кваліфікацію, пройшли медичний огляд та відповідний інструктаж. | |
| <i>II. Обов'язки працівника</i> | <i>III. Головні небезпечні фактори</i> |
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Виконувати правила внутрішнього трудового розпорядку; 2. Користуватися спецодягом та засобами індивідуального захисту; 3. Працювати тільки на справному обладнанні; 4. Не допускати сторонніх осіб на робоче місце; 5. Утримувати робоче місце в чистоті, не захарашувати його. | <ol style="list-style-type: none"> 1. Захаращеність робочого місця; 2. Відсутність спеціальних пристосувань, інструменту, обладнання; 3. Підвищена температура обладнання; 4. Підвищена температура, вологість, рухливість повітря робочої зони; 5. Недостатня освітленість робочої зони; 6. Незахищені токоведучі частини електрообладнання; |
| <i>IV. Вимоги безпеки перед початком роботи</i> | <i>V. Вимоги безпеки під час роботи</i> |
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Отримати завдання від керівника робіт. 2. Одягти спецодяг і привести його в порядок. 3. Підготувати робоче місце до виконання робіт, прибрати всі непотрібні речі. 4. Впевнитись, що робоче місце достатньо освітлене. 5. Підібрати та підготувати необхідні інструменти, пристосування, обладнання. 6. Перед вмиканням обладнання необхідно переконатись, чи нема у машині сторонніх предметів, чи надійне кріплення механізмів. | <ol style="list-style-type: none"> 1. Перед вмиканням у роботу обладнання необхідно впевнитись у його справності. 2. Продукт не повинен торкатися магнетрона. 3. Завантаження та розвантаження установки проводиться при вимкненому магнетроні. 4. Категорично забороняється працювати на установці з відкритою камерою обробки сировини. |
| <i>VI. Вимоги безпеки після закінчення роботи</i> | <i>VII. Вимоги безпеки в аварійній ситуації</i> |
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Після закінчення роботи необхідно вимкнути обладнання. 2. Прибрати робоче місце. Звільнити його від відходів виробництва, винести сміття. 3. Почистити, помити інвентар, інструмент, скласти його в відведене для нього місце. 4. Зняти спецодяг, покласти його в відведене для цього місце; прийняти душ. 5. Доповісти керівникові про всі недоліки, які мали місце під час роботи. | <ol style="list-style-type: none"> 1. негайно відключити від мережі електрообладнання, відключити від систем газ. 2. Не допускати в небезпечну зону сторонніх осіб. 3. Повідомити про те, що сталося керівника робіт. 4. В усіх випадках виконувати вказівки керівника робіт по усуненню небезпечного стану. |

Рисунок 4.1 – Карта безпеки праці оператора установки для обробки сухофруктів у полі НВЧ

5.2 Утилізація відходів виробництва

Переробка відходів консервного виробництва дозволяє отримувати сухий пектин, органічні добрива, фруктові порошки і багато різних сухих харчових продуктів.

Особливість використання відходів консервного виробництва полягає в тому, що обробка сировини (очищення, різання, дроблення, бланшування) часто або повністю знижує його стійкість до впливу мікроорганізмів. Основна трудність у переробці відходів полягає в тому, що вони можуть дуже швидко піддаватися ферментації або гниттю, тому не можуть зберігатись тривалий час.

Отримання фруктового порошку, яке можна включити до процесу використання відходів консервного виробництва, також знаходить застосування у харчовій промисловості для виробництва цукерок, тортів та інших продуктів. Вижимку піддають гранулюванню, а процес сушіння відбувається в сушарках, спочатку при температурі 110 – 140 °С, а потім – при 70 – 95 °С. Після завершення сушіння вижимку охолоджують, подрібнюють за допомогою дробарки, просіюють і фасують в полімерні мішки.

Ефективне використання відходів виробництва консервів може стати додатковим джерелом прибутку для підприємства, а інвестиції у технологічну лінію для їхньої переробки будуть відшкодовані через невеликий проміжок часу.

Висновки за розділом

В даному розділі кваліфікаційної роботи було розроблено карту безпеки праці оператора установки для обробки харчових продуктів мікронізацією, обговорене та визначено шляхи утилізації відходів консервного виробництва.

6 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

6.1 Організація проведення дослідження

Проведення досліджень включає у себе складання переліку робіт, визначення їх взаємозв'язків і тривалості, створення мережевого графіка, ідентифікацію критичного шляху та розрахунок бюджету для здійснення експерименту.

У таблиці 6.1 представлено перелік завдань, які включає в себе обґрунтування процесу та технологічних параметрів обробки бобів сої за допомогою ІЧ-випромінювання з метою підвищення їх якісних характеристик.

Таблиця 6.1 – План проведення дослідження

| Шифр робіт $i-j$ | Найменування робіт | Тривалість робіт t_{ij} , днів |
|------------------|--|----------------------------------|
| 1-2 | Вибір запропонованого напрямку наукових досліджень | 1 |
| 2-3 | Літературний пошук та написання літературного огляду | 18 |
| 3-4 | Розробка послідовності науково-дослідних робіт | 4 |
| 4-5 | Розробка методик проведення наукових досліджень | 3 |
| 5-6 | Підготовка дослідних зразків бобів сої | 3 |
| 6-7 | Підготовка експериментальної установки | 17 |
| 7-8 | Дослідження тривалості процесу ІЧ-обробки в залежності від температури процесу | 3 |
| 7-9 | Вплив режимів мікронізації на зміну показників поживності | 6 |
| 7-10 | Дослідження впливу мікронізації на санітарний стан зерна | 3 |
| 7-11 | Вплив зрошення поверхні бобів на якісні показники процесу | 2 |
| 8-12 | Обробка даних експериментальних дослідження | 1 |
| 9-12 | | 1 |
| 10-12 | | 1 |
| 11-12 | | 1 |
| 12-13 | Підготовка матеріалу для публічного оприлюднення | 8 |

Графічна модель плану проведення наукових досліджень приведена на рис.

6.1.

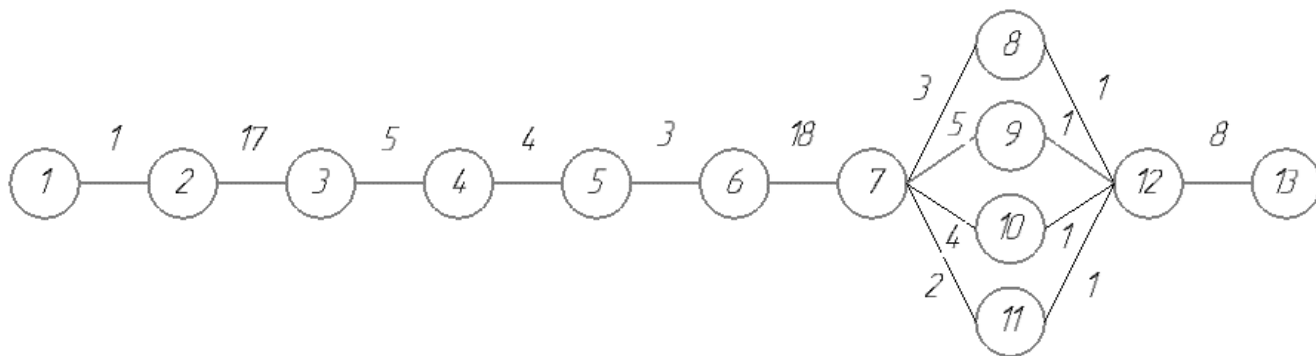


Рисунок 6.1 – Модель плану проведення наукових досліджень у графічній формі

Застосовуючи графічну модель, визначають повний шлях проведення дослідних робіт.

$$L_{1-2-3-4-5-6-7-8-12-13}^1 = 1 + 17 + 5 + 4 + 3 + 18 + 3 + 1 + 8 = 57;$$

$$L_{1-2-3-4-5-6-7-9-12-13}^2 = 1 + 17 + 5 + 4 + 3 + 18 + 5 + 1 + 8 = 62;$$

$$L_{1-2-3-4-5-6-7-10-12-13}^3 = 1 + 17 + 5 + 4 + 3 + 18 + 4 + 1 + 8 = 61;$$

$$L_{1-2-3-4-5-6-7-11-12-13}^3 = 1 + 17 + 5 + 4 + 3 + 18 + 2 + 1 + 8 = 59.$$

Згідно розрахунків критичним є другий маршрут, тривалість якого складає 62 дні.

6.2 Витрати на проведення дослідження

Вартість основних і допоміжних матеріалів визначається шляхом розрахунку витрат за формулою:

$$M = \sum m_i \cdot C_i, \quad (6.1)$$

де m_i – кількість витраченого i -го матеріалу;

C_i – ціна одиниці i -го матеріалу, грн.

Результати розрахунку витрат на матеріали наведені в табл. 6.2.

Таблиця 6.2 – Кількість і вартість основних матеріалів

| Найменування, одиниці | Кількість | Ціна, грн | Сума, грн |
|-----------------------|-----------|-----------|-----------|
| Боби сої, кг | 50 | 13 | 650,00 |
| Всього | | | 650,00 |

Витрати на оплату праці учасників досліджень представлені 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 | 8000 | 50,00 | 20 | 1000,00 |
| Всього | | | | 1000,00 |

Встановлено, що нарахування на заробітну плату становлять 22 % від загальної суми єдиного податку:

$$H = \frac{1000,00 \cdot 22}{100} = 220,00 \text{ грн.}$$

Витрати на використану електроенергію розраховуються за допомогою наступної формули:

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

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).

Витрати енергії на роботу мікронізатора:

$$E_{\text{сум}} = 1,2 \cdot 0,9 \cdot 24 \cdot 1,68 = 43,55 \text{ грн.}$$

Витрати електроенергії, витрачені комп'ютером:

$$E_{\text{комп}} = 0,9 \cdot 0,9 \cdot 112 \cdot 1,68 = 152,41 \text{ грн.}$$

Загальні витрати електроенергії:

$$E_{\text{заг}} = E_{\text{суш}} + E_{\text{комп}} = 43,55 + 152,41 = 195,96$$

Затрати на амортизацію обладнання, визначаються за наступною формулою:

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

де A – амортизаційні відрахування, грн;

Φ – вартість устаткування, грн;

H – річна норма амортизації, %;

t – тривалість проведення дослідження на устаткуванні, днів;

12 – кількість місяців у році.

Результати розрахунків наведені в табл. 6.4.

Таблиця 6.4 – Витрати на амортизацію

| Устаткування | Вартість, грн | Річна норма амортизації, % | Тривалість роботи, днів | Витрати на амортизацію, грн |
|------------------------|---------------|----------------------------|-------------------------|-----------------------------|
| Мікронізатор | 1341,00 | 24 | 3 | 2,65 |
| Персональний комп'ютер | 11001,00 | 20 | 14 | 84,37 |
| Всього | | | | 87,03 |

Накладні витрати становлять:

$$\frac{(1000,00 \cdot 80)}{100} = 800,00 \text{ грн.}$$

Кошторис витрат на проведення дослідження наведений в табл. 6.5.

Таблиця 6.7 – Оцінка витрат на виконання дослідження

| Витрати | Сума, грн. |
|--------------------------------|------------|
| Основні матеріали | 650,00 |
| Заробітна плата | 1000,00 |
| Нарахування на заробітну плату | 220,00 |
| Електроенергія | 195,96 |
| Амортизація | 87,03 |
| Накладні витрати | 800,00 |
| Всього | 2952,98 |

Під час аналізу було виявлено, що найвищі витрати визначаються заробітною платою та накладними витратами.

6.3 Розрахунок вартості дослідження

Цінова політика для даного науково-дослідного проєкту ґрунтується на витратах, пов'язаних із проведенням досліджень, та факторах прибутковості, оскільки ця робота відноситься до фундаментальних досліджень:

$$Ц = C + \frac{P \cdot C}{100}, \quad (6.8)$$

де $Ц$ – вартість дослідження, грн;

C – витрати на дослідження, грн;

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

$$Ц = 2952,98 + \frac{30 \cdot 2952,98}{100} = 3050,00 \text{ грн.}$$

Витрати на проведені дослідження становлять 3050,00 грн.

Висновки за розділом

Основними складовими витрат у процесі проведення дослідження є витрати на оплату праці та накладні витрати, які складають відповідно 1000,00 грн та 800,00 грн. Підсумково, з урахуванням 30 % нормативної рентабельності, загальна вартість проведеного дослідження складає 3050,00 грн.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Виявлено розходження в характері термообробки зернових та бобових культур, виражається у більшій нерівномірності прогріву сої порівняно з пшеницею при використанні ІЧ-обробки сировини на установці ІЧ УТЗ-4.

Виявлено, що обробка соєвих бобів на поточній ІЧ-установці УТЗ-4 не спроможна досягти необхідної середньозваженої температури без виникнення "обгорання" поверхні сировини, яке необхідне для зниження вмісту антипоживних речовин в сої до безпечного рівня

Проаналізовано вплив вологості соєвих бобів і температури ІЧ-обробки за допомогою удосконаленої ІЧ-установки на зміну біохімічних показників сої та визначено оптимальні параметри ІЧ-нагріву сировини.

Визначено, що введення лише етапу ІЧ-нагріву в технологічний процес обробки сої не призводить до зниження вмісту уреазу до нормативного рівня. На основі цього розроблено додатковий етап – темперування, обґрунтовано його тривалість.

Визначено режим термообробки, який включає нанесення поверхневої води у кількості 4,0 – 6,0 %, нагрівання ІЧ до температури 120 – 130 °С і темперування протягом 5 – 7 хвилин. Цей режим призводить до збільшення ферментативної атаки на білки сої в 2,5 – 3,0 рази, що поліпшує їх засвоєння в готових продуктах. Також застосування цього режиму дозволяє стабілізувати ліполітичний комплекс сировини, зокрема, зменшити активність ліпази і ліпоксигенази.

Досліджено, що застосування методу ІЧ-обробки соєвих бобів виявляється ефективним засобом підвищення мікробіологічної чистоти сировини, оскільки значно зменшує вміст сторонньої мікрофлори (в десятки разів).

Спроектовано апаратно-технологічну схему для отримання соєвих бобів, які пройшли процедури ІЧ-обробки та темперування.

Здійснено порівняльний аналіз якісних характеристик оброблених соєвих бобів за розробленим методом у порівнянні з існуючими.

запропоновано інноваційний метод обробки соєвих бобів за допомогою інфрачервоного енергопідводу з метою отримання різноманітних соєвих продуктів для подальшого використання в харчовій та комбікормовій промисловості.

Основними статтями витрат під час проведення дослідження є витрати на заробітну плату та накладні витрати, які складають відповідно 1000,00 грн та 800,00 грн. Узагальнено, з урахуванням 30% нормативної рентабельності, вартість проведеного дослідження становить 3050,00 грн.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Подпряттов Г.І., Рожко В.І., Скалецька Л.Ф. Технологія зберігання та переробки продукції рослинництва: підручник. К. : Аграрна освіта, 2014. 393 с.
2. Технологія зберігання і переробки зерна : навч. посіб. /Л.М. Пузік, В.К. Пузік; Харк. нац. аграр. ун-т ім. В.В. Докучаєва. – Х.: ХНАУ, 2013. 312с
3. Механізація переробки та зберігання сільськогосподарської продукції: курс лекцій / Н.І. Хомик, В.П. Олексюк, О.П. Цьонь. Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2016. 288с.
4. Правила охорони праці для працівників, зайнятих на роботах зі зберігання та переробки зерна. Київ: Мін.Соц.Політики. 2017. 74 с.
5. Соя. Технічні умови: ДСТУ 4964: 2008. – [Чинний від 2008-24-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2008. 18с. – (Національний стандарт України).
6. Станкевич Г.М. Сушіння зерна: навч. посіб. / Г. М. Станкевич, Т. В. Страхова, В. І. Атаназевич – Київ: Либідь, 1997. – 352 с.
7. Осокіна Н.М., Герасимчук О.П., Матвієнко Н.П. Технологія зберігання та переробки зерна: книга. ТОВ «Книга-плюс», 2012. 320 с.Управління якістю: навч. посіб. 2-е вид. / Д.П. Лойко, О.П. Вотченікова, О.П. Удовіченко, М.А. Котляр. Львів: «Магнолія – 2006», 2010. 240 с.
8. Гандзюк М. П. Основи охорони праці: підручник / М. П. Гандзюк, Е. П. Желібо, М. О. Халимовський. – К.: Каравела, 2005. – 393 с.
9. Маковецька Ю. Сучасне керування відходами відповідно до принципів циркулярної економіки. Посібник курсу ZWA deer level, 2021. 140 с. Режим доступу: <https://zerowastekharkiv.org.ua/wp-content/uploads/2021/12/posybnic-lekciye-book-5.pdf>.
10. Відходи та безвідходне виробництво в харчовій промисловості : наук.-допом. бібліогр. покажч. двома мовами 1956 – 2020 pp. / [упоряд. І. М. Мельничук]; Нац. ун-т харч. технол., Наук.-техн. б-ка. Київ, 2021. 110 с. Режим доступу:

http://dspace.nuft.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/34268/1/Waste_and_waste-free_production_in_the_food_industry.pdf.

11. <https://www.syngenta.ua/>
12. <https://ohoronapraci.com.ua/interviews/67355-vymohy-bezpeky-pid-chas-pererobky-ta-zberihannya-zerna>.
13. <https://agronomy.com.ua/statti/515-suchasni-tekhnohii-sushinnia-zerna.html>.
14. <https://agroexpert.ua/sposoby-ta-obladnannia-dlia-sushinnia-zerna/>.
15. <https://agro-business.com.ua/agro/zberihannia/item/19814-tekhnohiiia-komfortnoho-sushinnia-zerna.html>.
16. <https://kmzindustries.ua/elevators/osoblivosti-sushinnia-riznih-kultur>.
17. Яковенко А.І., Борта А.В. Технологія зберігання та сушіння зерна: Кількісно-якісний облік зерна: Навчальний посібник – Одеса: 2016. – 174 с.
18. <https://corelamps.com/yak-obraty-svitylnyk-chy-lampochku/infrachervone-vyprominiuvannia/>.
19. <https://bilux.ua/infrared-radiation-directory-ukr/>.
20. <https://ten24.com.ua/ua/blog/sovremennye-tipy-infrakrasnykh-izluchateley/>.
21. Визначення міцностних характеристик зерна [Електронний ресурс] / А. В. Купченко, О. В. Ялпачик, Т. А. Шпиганович, В. А. Алексеєнко // Зернові продукти і комбікорми. – 2010. – № 4. – С. 18 – 22.
22. Моделювання процесу ІЧ-обробки насіння соняшнику в стаціонарному шарі при композиційному плануванні експерименту [Електронний ресурс] / А. В. Купченко, К. О. Мельников, Ю. О. Чурсінов // Науковий вісник Полтавського університету економіки і торгівлі. Серія : Технічні науки. – 2010. – № 1. – С. 142–147.
23. Tuncel, N. B., Yilmaz, N., Kocabiyik, H., Öztürk, N., & Tuncel, M. (2010). The effects of infrared and hot air drying on some properties of corn (*Zea mays*). *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 8(1), 63–68.

24. Hacıhafızoglu, O.; Susantez, C.; Kahveci, K.; Yılmaz, S. Numerical Investigation of Intermittent Drying of a Corn for Different Drying Conditions. *Therm. Sci.* 2019, 23, 801–812.
25. Kirleis, A., & Stroschine, R. (1990). Effects of hardness and drying air temperature on breakage susceptibility and dry-milling characteristics of yellow dent corn. *Cereal Chemistry*, 67, 523–528.
26. Chandrashekar A. Mazhar H. The biochemical basis and implications of grain strength in sorghum and maize. *J. Cereal Sci.* 1999; 30: 193-207
27. Atungulu, G. G. 2018b. Infrared food processing technology: Fundamentals and case studies of recent advances in grain processing. In *Alternatives to Conventional Food Processing*, ed. A. Proctor, 397–417. London: Royal Society of Chemistry.
28. . Кирпа М. Я., Кулик В. О. Енергоощадні прийоми у технологіях сушіння насіння кукурудзи. Бюл. Ін-ту сільськ. госп-ва степової зони НААН. 2016. № 11. С. 82–87.
29. . Кирпа М., Кulyk V., Kupar J., Stasiv Oleg. Influence of a New EnergySaving Drying Method on the Quality of Corn Seeds. *American Journal of Agriculture and Forestry*. Vol. 9. No. 1. 2021. p. 1–6.
30. 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.
31. Півоваров О.А., Ковальова О.С., Кошулько В.С. Інноваційні методи визначення показників якості зерна: Навчальний посібник / О.А. Півоваров, О.С. Ковальова, В.С. Кошулько. Дніпро: ДДАЕУ, 2023. 325 с.
32. 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>

33. Чурсінов Ю. О., Ковальова О. С., Калина В. С., Пилипенко Г. О., Хомик Н. І., Lehmann Ch. Аналітичне дослідження перспективи процесів автоматизації прийому, оцінки якості та закладання зерна на зернопереробних підприємствах // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: наукове фахове видання / ТДАТУ. Мелітополь: ТДАТУ, 2020. Вип. 20, т. 1. С.93-107. DOI: <http://dx.doi.org/10.31388/2078-0877-20-1-82-92>

34. Features of obtaining malt with use of aqueous solutions of organic acids / Pivovarov O., Kovaliova O., Khromenko T., Shuliakevych Z. // Food Science and Technology, Volume 11 Issue 4/ 2017. – P.29-35. DOI: <http://dx.doi.org/10.15673/fst.v11i4.728>

35. 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>.

36. Кошицька Н.А. Удосконалення елементів технології режимів сушіння насіння // Інститут сільського господарства Полісся НААН. Житомир, 2013. С. 278–281.

37. Рибчинський, Р. С. Характеристика бобів сої, що вирощується і переробляється в Україні: Збірник тез доповідей міжнародної науково-практичної конференції «Технології харчових продуктів і комбікормів», Одеса, 25-30 вересня 2017 р. / Одеська нац. акад. харч. технологій, Одеса, ОНАХТ, 2017. С. 7–9.

38. Матус Ю. В. Інформаційна підтримка технологічного процесу інфрачервоного сушіння зерна / Ю. В. Матус, В. А. Лахно, Т. Ю. Осіпова // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля. – 2019. – № 7(255). – С. 43-49.

39. Паламарчук І. П., Цуркан О. В., Паламарчук В. І. Обґрунтування конструктивно-технологічної схеми інфрачервоної віброхвильової конвеєрної сушарки для післязбиральної обробки сипкої сільськогосподарської продукції. Зб. наук. пр. ВНАУ. Серія: Технічні науки. Вінниця, 2015. №1 (89) Т.1 С.117–123.

40. Бандура В., Ярошенко Л. Обґрунтування параметрів процесу сушіння насіння соняшнику у вібросушарці на основі інфрачервоного опромінення. *Scientific Works*. 2019. Vol. 83 (1). P. 110–116.
41. . Бандура В., Ярошенко Л. Обґрунтування параметрів процесу сушіння насіння соняшнику у вібросушарці на основі інфрачервоного опромінення. *Scientific Works*. 2019. Vol. 83 (1). P. 110–116.
42. Chua K.Y. and Shaw S.K. (2003). Low cost drying methods for developing countries. *Trends in Food Science and Technology* 14: 519—528.
43. Bualuang, O., Onwude, D. I., & Pracha, K. (2017). Microwave drying of germinated corn and its effect on phytochemical properties. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(9), 2999 – 3004.
44. Onwude, D. I., Hashim, N., & Chen, G. (2016a). Recent advances of novel thermal combined hot air drying of agricultural crops. *Trends in Food Science & Technology*, 57, 132–145.