

**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 технологічного процесу  
зnezараження зерна при виробництві зернового  
хліба**

**Виконала:** здобувачка вищої освіти 2 курсу,  
групи МгХТз-1-22  
освітньо-професійної програми «Харчові технології»  
зі спеціальності 181 «Харчові технології»

\_\_\_\_\_ Юлія МИРОШНИЧЕНКО

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

**Рецензент:** \_\_\_\_\_ Олексій МАРЧЕНКО

Дніпро 2024

**ДНПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра харчових технологій

Ступінь вищої освіти: «Магістр»

Освітньо-професійна програма: «Харчові технології»

Спеціальність: 181 «Харчові технології»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

В.о. завідувача кафедри

харчових технологій,

кандидат технічних наук, доцент

Віталій КОШУЛЬКО

(підпис)

«26» грудня 2023 р.

**З А В Д А Н Н Я  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧЦІ ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Мирошниченко Юлії Костянтинівні

1. Тема роботи: «Обґрунтування технологічного процесу знезараження зерна при виробництві зерно».

Керівник роботи: Кошулько Віталій Сергійович, кандидат технічних наук, доцент, затверджені наказом закладу вищої освіти від «26» грудня 2023 року № 4085.

2. Строк подання здобувачем вищої освіти роботи 12 лютого 2024 року

3. Вихідні дані до роботи: 1 Технологія знезараження зерна пшениці та технологія виробництва зернового хліба. 2 Наукова, нормативна, технологічна, технічна та патентна документація.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити). Вступ. 1 Сучасний стан і існуючі методи знезараження хлібопродуктів. 2 Теоретична модель обґрунтування технологічного процесу знезараження зерна енергією НВЧ-поля при виробництві зернового хліба. 3 Методика визначення ефективних режимів НВЧ знезараження зерна при виробництві зернового хлібу. 4 Результати дослідження впливу параметрів НВЧ-енергії на мікрофлору та якісні показники зерна. 5 Охорона праці та захист навколишнього середовища. 6 Організаційно-економічна частина. Загальні висновки. Бібліографія.

## 5. Перелік демонстраційного матеріалу

1. Постановка проблеми. 2 Мета та задачі дослідження. 3 Дослідне обладнання та методика проведення досліджень. 4 Експериментальні дослідження та їх результати. 5 Практичне впровадження отриманих результатів. 6 Кошторис витрат на проведення досліджень. 7 Загальні висновки.

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Посада, прізвище та ім'я консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1 – 4	доцент КОШУЛЬКО Віталій	26.12.2023	12.02.2024
5	доцент КОШУЛЬКО Віталій	26.12.2023	12.02.2024
6	доцент КОШУЛЬКО Віталій	26.12.2023	12.02.2024

7. Дата видачі завдання 26 грудня 2023 року.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	27.12-31.12.23	виконано
2	Сучасний стан і існуючі методи знезараження хлібопродуктів	01.01-08.01.24	виконано
3	Теоретична модель обґрунтування технологічного процесу знезараження зерна енергією НВЧ-поля при виробництві зернового хліба	09.01-15.01.24	виконано
4	Методика визначення ефективних режимів НВЧ знезараження зерна при виробництві зернового хлібу	16.01-22.01.24	виконано
5	Результати дослідження впливу параметрів НВЧ-енергії на мікрофлору та якісні показники зерна	23.01-29.01.24	виконано
6	Охорона праці та захист навколишнього середовища	30.01-01.02.24	виконано
7	Організаційно-економічна частина	02.02-06.02.24	виконано
8	Загальні висновки та бібліографія	07.02-08.02.24	виконано
9	Розробка та підготовка демонстраційного матеріалу	09.12.2024	виконано

**Здобувач вищої освіти** \_\_\_\_\_ Юлія Мирошніченко  
( підпис )

**Керівник роботи** \_\_\_\_\_ Віталій КОШУЛЬКО  
( підпис )

## РЕФЕРАТ

Тема: «Обґрунтування технологічного процесу знезараження зерна при виробництві зернового хліба»

**Кваліфікаційна робота містить:** 71 с., 12 рис., 18 табл., 47 літературних джерел посилань.

**Об'єкт дослідження** – технологічний процес виробництва зернового хліба що передбачає операцію знезараження зерна в полі НВЧ.

**Предмет дослідження** – взаємозв'язок основних параметрів процесу знезараження зерна в полі НВЧ на основні показники якості хліба та на ефективність знешкодження бактерій.

**Мета роботи:** обґрунтування технологічного процесу та режимів НВЧ-знезараження зерна для покращення його якісних показників та зниження енерговитрат.

В останні роки постала проблема отримання хлібопекарської продукції з низькими показниками мікробіологічної обсіменіння. Захворювання хліба картопляною хворобою та пліснявінням стали найбільшими поширеними видами мікробіологічного псування хлібобулочних виробів. За літературними джерелами [10, 11, 13] будь-які партії зерна містять від кількох тисяч до десятків мільйонів мікроорганізмів в одному грамі продукції.

Тому, при зберіганні та переробці зерна необхідно передбачити заходи, що перешкоджають зростанню та розмноженню мікроорганізмів та накопиченню токсинів.

## КЛЮЧОВІ СЛОВА

*Зерно, хліб, токсини, бактерії, знезараження, ефективність, експозиція, температура, питома потіжність, дослідження, експеримент, випробування.*

## ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 СУЧАСНИЙ СТАН І ІСНУЮЧІ МЕТОДИ ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ХЛІБОПРОДУКТІВ	9
1.1 Аналіз зараженості хлібопродуктів шкідливою мікрофлорою	9
1.2 Супутні способи знезараження хлібопродуктів	12
1.3 Існуючі методи знезараження хлібопродуктів енергією ВЧ та НВЧ	19
Висновки до розділу	23
2 ТЕОРЕТИЧНА МОДЕЛЬ ОБГРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ЗЕРНА ЕНЕРГІЄЮ НВЧ-ПОЛЯ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ЗЕРНОВОГО ХЛІБА	24
2.1 Обґрунтування запропонованого технологічного процесу виробництва зернового хліба	24
Висновки до розділу	26
3 МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНИХ РЕЖИМІВ НВЧ ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ЗЕРНА ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ЗЕРНОВОГО ХЛІБУ	27
3.1 Обґрунтування та вибір параметрів процесу знезараження зерна ЕМПНВЧ	27
3.2 Методики дослідження на вплив ефективних режимів обробки на зараженість та якісні показники зерна енергій НВЧ-поля	30
Висновки до розділу	32
4 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ НВЧ-ЕНЕРГІЇ НА МІКРОФЛОРУ ТА ЯКІСНІ ПОКАЗНИКИ ЗЕРНА	33
4.1 Результати впливу параметрів НВЧ-енергії на температуру нагріву зерна	33
4.2 Результати дослідження впливу параметрів НВЧ поля на знезараження зерна від бактерій <i>Bacillus subtilis</i>	36
4.3 Результати досліджень щодо впливу параметрів НВЧ обробки на зараженість грибами роду <i>Penicillium</i> та <i>Fusarium</i>	39

4.4	Результати досліджень впливу параметрів НВЧ-поля на загальну мікробну обсімененність зерна	44
4.5	Результати досліджень впливу параметрів НВЧ-поля на якісні та кількісні показники клейковини зерна	48
	Висновки до розділу	54
5	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	56
5.1	Розробка карти безпеки праці	56
5.2	Утилізація відходів виробництва борошна	57
	Висновки до розділу	58
6	ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	59
6.1	Організація проведення дослідження	59
6.2	Витрати, пов'язані з проведенням дослідження	61
6.3	Розрахунок вартості дослідження	64
	Висновки до розділу	64
	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	65
	БІБЛІОГРАФІЯ	67

## ВСТУП

В Україні та в інших державах, що мають значний аграрний сектор, рівень виробництва зерна значно впливає на їх економіку, і є основою продовольчої безпеки. [13]

Україна є одним із найбільших виробників зерна у світі. З урахуванням рису та сої виробництво зерна у 2023 р. перевищило 2250 млн.т. і стоїть на п'ятому місці після США, Китаю, ЄС та Індії. Різниця в обсягах виробництва зерна між Україною та вказаними країнами дуже суттєва, незважаючи на те, що потенціал земельних ресурсів нашої країни задіяний не повністю. Україна має в своєму розпорядженні 5 % світових посівних площ. І якщо задіяти наявні земельні ресурси за середньосвітової врожайності зернових культур, можна було б збирати не менше 100 млн. т. зерна та постачати на зовнішні ринки.

Зниження грошового доходу від можливого виторгу на зерновому ринку спостерігається внаслідок нераціонального формування окремих партій зерна, переходу великої кількості цінного зерна у відходи при його переробці, іноді погіршуються товарні якості за рахунок значного зараження шкідливою мікрофлорою – споровою бактеріальною та грибною інфекціями, внаслідок чого відбувається мікробіологічне псування зерна та великі втрати при його подальшому зберіганні [1].

В останні роки постала проблема отримання хлібопекарської продукції з низькими показниками мікробіологічної обсіменіння. Захворювання хліба картопляною хворобою та пліснявінням стали найбільшими поширеними видами мікробіологічного псування хлібобулочних виробів. За літературними джерелами [10, 11, 13] будь-які партії зерна містять від кількох тисяч до десятків мільйонів мікроорганізмів в одному грамі продукції.

Тому, при зберіганні та переробці зерна необхідно передбачити заходи, що перешкоджають зростанню та розмноженню мікроорганізмів та накопиченню токсинів.

Хліб, уражений картопляною хворобою, не придатний до вживання в їжу, і є небезпечним джерелом інфекцій, що викликає розлад шлунку та блювання, ракові та серцево-судинні захворювання. Зараження хліба картопляною хворобою призводить до великих фінансових збитків борошномельних та хлібопекарських підприємств через непридатність борошна та хліба до вживання.

Підприємства несуть великі витрати на очищення устаткування від спорових інфекцій, що викликає зупинку роботи устаткування на досить тривалий час.

Пошук та застосування менш енергоємних та екологічно безпечних способів, що продовжують термін зберігання та збереження первісної якості зерна є найбільш актуальною проблемою у хлібопекарській галузі. Вирішення цієї проблеми ставить певні цілі перед наукою та виробництвом.

Тому метою роботи є обґрунтування технологічного процесу та режимів НВЧ-зnezараження зерна для покращення його якісних показників та зниження енерговитрат.

Для виконання поставленої мети необхідно вирішити низку завдань:

- провести аналіз існуючих методів znezараження хлібопродуктів;
- розробити теоретичні моделі визначення ефективних режимів процесу znezараження зерна енергією ЕМПНВЧ;
- розробити методику проведення досліджень із znezараження зерна енергією ЕМПНВЧ під час виробництва хліба;
- провести дослідження щодо визначення ефективних режимів znezараження зерна енергією ЕМПНВЧ під час виробництва хліба;
- виконати розрахунок кошторису витрат на проведення досліджень.

Об'єкт дослідження – технологічний процес виробництва зернового хліба що передбачає операцію znezараження зерна в полі НВЧ.

Предмет дослідження – взаємозв'язок основних параметрів процесу znezараження зерна в полі НВЧ на основні показники якості хліба та на ефективність znezшкодження бактерій.

# 1 СУЧАСНИЙ СТАН І ІСНУЮЧІ МЕТОДИ ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ХЛІБОПРОДУКТІВ

## 1.1 Аналіз зараженості хлібопродуктів шкідливою мікрофлорою

У роботах, присвячених хворобам хліба, пов'язаним із бактеріями та грибами, відзначалося небезпечне споживання ураженого цими хворобами хліба людиною. Відомо, що бактерії роду *Bacillus* є причиною виникнення картопляної хвороби хліба визнані умовним патогеном, який викликає харчові токсиконфекції. Ці мікроорганізми, як правило, зустрічаються у складі мікофлори ґрунтів і тому потрапляють у зерно, а отже, надалі заражають борошно і при вживанні хліба викликають серйозні захворювання людини (ендокардити, ендoftальміти, менінгіти, септицемії, артрити, остеомієліти та ін). На жаль, в даний час не налагоджено повсюдний контроль вмісту бактерій спороутворюючих, а також їх шкідливості при споживанні людиною в їжу. Тому необхідно розробити ефективні методи зниження кількості бацил у зерні, борошні та хлібі.

Ряд учених [17, 20, 29, 47] своїми дослідженнями з вивчення вмісту в пшеничному борошні та спеченому з нього хлібі визначили у відсотковому відношенні види бактерій роду *Bacillus*. Досліджено проби пшеничного борошна вищих сортів, отриманих з різних регіонів України. Даними дослідженнями в пшеничному борошні вищих сортів були виявлені поряд з *B. subtilis* також бактерії *B. licheniformis* та *B. Megaterium*.

В одній пробі дослідники виявляли до восьми різних штамів бацил у кількості від  $1,1 \cdot 10^4$  до  $8,3 \cdot 10^4$  КУО/р.

У процесі випікання хліба з такого борошна кількість бацил у хлібі дещо знижується, але через 24 години зберігання хліба їх кількість зростає до  $2 \cdot 10^4$  КУО/г, а через 36 год до  $8 \cdot 10^5$  КУО/р. При цьому органолептичні ознаки картопляної хвороби хліба не виявляються.

При зберіганні визначається вид та кількісний склад бактерій роду *Bacillus*. Факт виявлення в такому хлібі життєздатних бактерій з невідомими

властивостями ставить питання про небезпеку такого продукту для вживання людиною.

Зерно, в процесі безперервного зберігання під дією навколишнього середовища, іноді зволожується, що призводить в процесі його переробки до проростання в борошні спор та грибів. [40, 41, 47]

Абсолютно точно встановлено, що з зерна в борошно переходять практично всі мікроорганізми та продукти їх життєдіяльності, і кількість мікроорганізмів у борошні безпосередньо залежить від їх наявності у зерні. [22]

Хліб з борошна з великим вмістом спорових бактерій картопляної палички при звичайному зберіганні при температурі 30 – 35 °С вже в першу добу набуває характерного фруктового запаху і характеризується липким м'якушем. Такий хліб вживати не можна, він підлягає утилізації.

На жаль, чинні стандарти на зерно, борошно та хліб не взаємопов'язані, не розглядають виробництво хліба та хлібопродуктів з високими споживчими властивостями у харчуванні людей.

Відомо, що хлібобулочні вироби після термічної обробки майже стерильні. Але коли хліб після випічки остигає, особливо в літній період і в спекотних країнах, на поверхні хліба осідає до 100 млрд. спор мікроорганізмів за хвилину, які надалі за сприятливих умов проростають і утворюють макроколонії [7, 13, 16, 18].

Пліснявання хліба відбувається через розвиток цвілевих грибів роду *Aspergillus* (*A. Flavus*, *A. Fumigatus*, *A. niger*, *A. Ochraceus*), *Mucor* (*M. Muced*, *M. Pusilus*, *M. Spinosus*), *Penicillium* (*P. Orustsum*, *P. Expansum*), *Rhizopus nigricans*, *Geotrichum candidum*. Як правило, при зберіганні на хлібі утворюється зелена, чорнильна синьо-зеленого кольору і чорна (хлібна) пліснява. Розвиток плісняв спостерігається при позитивній температурі 5 – 50 °С і тільки зберігання хлібних виробів у замороженому стані виключає можливість розвитку грибів цього роду, підвищена відносна вологість повітря, при зберіганні хліба, так само сприяє розвитку плісняв. М'якуш хліба являє для мікроорганізмів більш вологе середовище сприятливе для розвитку цвілі, ніж кірка. Тому цвіління м'якуша

зазвичай починається з тріщин або підривів у кірці і далі поширюється по всьому об'єму хлібобулочного виробу.

Ступінь зростання у хлібі мікроорганізмів впливає на кислотність. Встановлено, що для оптимального розвитку цвілевих грибів хлібної продукції рН знаходяться в межах від 4,5 до 5,5, отже, кислотність хлібних виробів не обмежує розвитку в них плісняв, але стримує їх розвиток при  $pH > 5,5$  у більш кислому середовищі.

Отримані дані свідчать, що кількість спорових бактерій є основним чинником прогнозування пліснявлення хлібобулочних виробів. В Інституті хлібопечення у Великій Британії м. Чорлевуд розроблено об'єктивний спосіб прогнозування мікробіологічної стійкості хліба за активністю води у продукті. Відомо, що близько 80 цвілевих грибів утворюють мікотоксини, з них 17 видів *Aspergillus* . і чотири – *Penicillium*. Основні отрути, що виробляються пліснявами – шість типів афлатоксинів, патулін, охратоксини та рубратоксини. За даними зарубіжних авторів хлібобулочні вироби із зовнішніми ознаками пліснявлення в їжу людині та тваринам застосовувати не можна [16, 17, 19].

Для зниження зараженості хліба при зберіганні використовують різні упаковки. Продукція з низькою кількістю цукру та жиру (3 – 4 %) з пшеничного борошна в упаковці піддається мікробіологічному псуванню через 4 – 5 діб. Хлібобулочні вироби, що містять більше 10 % цукру і жиру, пліснявіють на 6 – 9 добу; житньо-пшеничний хліб на 6 – 7; житній – на 7 – 8 добу.

При захворюванні хліба картопляною хворобою та плісняванні хліба, встановлений зв'язок між кількістю спор бактерій у борошні та їх активністю у хлібобулочних виробках.

При вмісті в 1 г пшеничного борошна 200 бактеріальних спор вироби пліснявіли на 7 – 8 добу. При вмісті в 1 г борошна 400 – 450 спор на 6 – 7 добу. При вмісті 1 г пшеничного борошна 1000 – 1500 спор – на 3 добу.

Тому пошук і застосування менш енергоємних та екологічно безпечних для людини способів знезараження зерен, борошна та продовження термінів

зберігання хлібобулочних виробів, дуже актуальна проблема, яка потребує свого вирішення.

## 1.2 Супутні способи знезараження хлібопродуктів

До цього часу в нашій країні і за кордоном практично не розроблена технологія стовідсоткового знезараження продовольчого зерна, прийнятна для хліба.

Аналізовані методи обробки зерна перед помелом дуже енергоємні і непродуктивні, знижують якість отриманого продукту, наприклад, хімічні і за даними не дають бажаних позитивних результатів.

Загальний технологічний процес існуючої системи виробництва зернового хліба представлений у вигляді функціональної схеми представленої на рис. 1.1.



Рисунок 1.1 – Функціональна схема існуючої технології виробництва зернового хліба

Аналіз існуючої технології виробництва хліба показує, що зерно, що прибуло зі складу або елеваторів, надходить до цеху з виробництва зернового хліба і піддається обробці вологою. Після миття мікроби, що знаходяться на поверхні, частково змиваються водою, але в основному заражають інші зерна, оскільки при митті виходить мікробний розчин, в якому миються всі зерна. Таким

чином, при загальному зниженні кількісного зараження зерна після миття збільшується загальний відсоток заражених зерен [13].

Внутрішні інфекції такі як, бактерії, що призводять до картопляної хвороби хліба та грибні (гриби роду *Fusarium* та ін) хвороби взагалі при митті не усуваються.

Надалі зерно замочується на 8 годин у воді для проростання зародка та посилення у ньому ферментативних процесів.

Одночасно за цей же проміжок часу активно проростають спори бактерій і грибів, що знаходяться в зернівках та їх поверхнях, виділяючи найсильніші отрути афлотоксини. Таким чином йде інтенсивне зараження майбутнього тіста та хлібної продукції.

Після екструдування на звичайних екструдерах і після тістомішалки, отримана тістова маса ще більш рівномірно заражається спорами шкідливої мікрофлори, а також бактеріями, грибами і афлотоксинами.

Випікання хліба при низьких температурах не гарантує його 100 % знезараження тому, що нові спори бактерій і грибів, що з'явилися, можуть іноді гинути лише при температурі в 120 °С. Така температура при випіканні хліба не досягається і тому він буквально начинений внутрішніми інфекціями, які при зберіганні вже в 1 – 2 дні починає бурхливо розвиватися і приводити хлібну продукцію в непридатний стан для споживання людиною. Особливо шкідлива в цьому випадку картопляна хвороба хліба (липкий м'якуш).

Незважаючи на те, що дослідження знезараження зерна, борошна, висівок, подрібненого зерна, хліба ведуться з 50-х років, це питання не вирішене досі і в останні роки у зв'язку з негативними економічними наслідками в АПК воно стало найбільш актуальним.

Запропоновано спосіб і пристрій [21, 22] пригнічення життєдіяльності мікроорганізмів на зерні, що передбачає створення потоку зерна у вигляді падаючого дощу, розпилення пропіонової кислоти газом-носієм зі створенням потоку аерозолу та контактуванням зерна та аерозолу в протитоці, а як газоносій використовувати двоокис вуглецю. В результаті на поверхні кожної зернівки

утворюється плівка пропіонової кислоти, що осідає з аерозолі, яка пригнічує розвиток мікрофлори, що знаходиться на ньому, крім кислоторезистентних грибів роду *Aspergillus* і *Penicillium*. Використовуваний як газоносій двоокис вуглецю, щільність якого більша за щільність повітря, витісняє останній із простору між зернівками і створює анаеробні умови зберігання зерна. Це призводить до придушення життєдіяльності аеробних мікроорганізмів роду *Aspergillus* і роду *Penicillium*.

Відомі роботи з використання електрохімічно активної (ЕХА) води для підвищення ефективності холодного кондиціонування зерна, проте відсутні відомості про її вплив на збудників картопляної хвороби хліба [27, 31, 42].

Для гідротермічної обробки зерна використовували лужну воду – аноліт і кислоту воду – католіт, як контроль – водопровідну воду, хліб випікали з цілнормального зерна (табл. 1.1). Застосування ЕХА води дозволяє знизити обсімененість зерна збудниками картопляної хвороби і загальмувати захворювання хліба на 24 – 36 годин.

Таблиця 1.1 – Вплив ЕХА води на мікроорганізми зерна та хліба

Показники	Вода, що застосовується в холодному кондиціонуванні		
	Водопровідна	Аноліт	Католіт
Кінцева вологість зерна, %	9,4	10,7	10,6
Вміст КОУ/г <i>B. subtilis</i>	$1 \cdot 10^4$	$3 \cdot 10^3$	$3 \cdot 10^3$
Захворювання хліба, год	24	48-60	48-60

При подальшому використанні аноліту та молочно-кислих заквасок для обробки зерна отримували борошно та досліджували як розподіляються мікроорганізми за фракціями (табл. 1.2).

Таблиця 1.2 – Розподіл *Bacillus subtilis* у зерні продукти його переробки

Найменування зразка	Водопровідна вода	Аноліт	МКЗ
Зерно після кондиціювання	$2 \cdot 10^3$	$3 \cdot 10^4$	$4 \cdot 10^4$
Борошно вищого ґатунку	$6 \cdot 10^2$	$1 \cdot 10^4$	$2 \cdot 10^2$
Суміш борошна першого та другого	$1 \cdot 10^3$	$3 \cdot 10^2$	$4 \cdot 10^2$
Висівки	$3 \cdot 10^3$	$3 \cdot 10^2$	60

Найбільше зниження числа бактерій спостерігалось у цих дослідженнях у висівках під час обробки зерна закваскою. Це говорить про те, що електрохімічна активність на епіфітну мікрофлору зерна ефективна.

Ряд авторів пропонує спосіб і пристрій [20, 21] для обробки насінневого, продовольчого та кормового зерна. Спосіб полягає в тому, що в контактному пристрої створюють потік зерна у вигляді падаючого дощу і одночасно розпорошують у нього ультразвуком воду і пропіонову кислоту в заданому співвідношенні з одночасним нанесенням на них статистичних електричних зарядів протилежних потенціалів, наприклад, шляхом подачі високої постійної напруги на робочі органи ультразвукових збудників. Під дією ультразвуку проводиться диспергування рідких середовищ з електростатичними взаємодіями, що знижують поверхневий натяг і підвищують дисперсність розпилення при одночасному виключенні коагуляції однойменно заряджених крапель кожного з компонентів консерванту – води та пропіонової кислоти. Таким чином створюється заряджені потоки, що мають дисперсність 0,1 – 0,3 мкм, що недосяжно за жодного з відомих методів розпилення рідин. Відбувається рівномірне змішування води і пропіонової кислоти в потоці аерозолу або на поверхні зернівок, чим забезпечується електростатична взаємодія заряджених крапель або зернівок, що приймають заряд від заряджених крапель, що осаджуються на них. З'єднання протилежно заряджених частинок та розчинення пропіонової кислоти у воді супроводжуються виділенням теплоти, під дією якої частина консерванту переходить у парову фазу та витісняє повітря із зернового потоку. Пари, контактуючи із зернівками, частково конденсуються на їх поверхні

з вивільненням теплоти фазового переходу. Як показали дослідження, поверхнева мікрофлора зерна одночасно обробляється кислотою, ультразвуком, температурою та електростатичними зарядами в анаеробних умовах. За твердженням авторів досягається повне знищення мікрофлори, у тому числі, такої як спорові форми цвілевих грибів роду *Aspergillus* і *Penicillium* при мінімальній витраті консервантів. Одночасно гарантовано повне знищення всіх форм та видів мікрофлори у процесі подальшого зберігання зерна. Така технологія дозволяє значно збільшити термін зберігання зерна за збереження його якісних показників.

Дані технології спрямовані на те, щоб перед розпорошенням у пропіонової кислоти розчинилися хітозан.

Для запобігання заплісневінню спеченого хліба використовують різні способи пригнічення цвілі на поверхні упакованого хліба. За даними вітчизняних та зарубіжних дослідників, передбачають застосування органічних кислот (пропіонової, сорбінової, лимонної, левулінової, бурштинової, мурашиної, фумарової та ін), а також їх кальцієвих та натрієвих солей.

Консервування хліба та дрібноштучних хлібобулочних виробів з використанням пропіонової кислоти особливо ефективно, коли упаковку додатково заповнюють діоксидом вуглецю.

Вивчені фунгіцидні властивості натрієвої солі дегідроацетонової кислоти (Na-ДГЦ). При додаванні в тісто 0,075 % Na-ДГЦ до маси борошна термін запобігання плісневіння булочних виробів з пшеничного борошна вищого гатунку збільшується з 4 до 10 діб, при обробці поверхні хліба 5 %-ним розчином Na - ДГЦ – 11 діб [43].

Розроблено спосіб виробництва хліба з цілющими та антимікробними властивостями, при якому після випікання хлібобулочні вироби зрошуються водою з присутністю срібла у вигляді іонів з концентрацією 0,03 – 0,05 мг/л при зниженні температури виробу до 50 – 70 °С. Цей метод дуже дорогий і вирішує проблему знезараження від картопляної хвороби хліба особливо у умовах спекотного клімату [43].

Сучасні дезінфікуючі засоби створені спеціально для боротьби з картопляною хворобою, рекомендовані до використання, що відносяться до четверто-амонійних сполук. Ці сполуки антибіотиків дорогі та дуже шкідливі для здоров'я людини [44].

Існують такі способи пастеризації або стерилізації харчової продукції, коли продукт поміщають у камеру, в якій створюють вакуум і потім подають нагрітий до 150 – 300 °С газ (наприклад, діоксид вуглецю). При цьому харчовий продукт нагрівається до 75 °С [12].

Групою вчених [21] розроблено способи виробництва хліба тривалого зберігання, за допомогою теплової та спиртової стерилізації.

Спосіб приготування хліба з борошна 1 гатунку в металевій консервній банці.

Попередньо полягає в тому, що перед випічкою банки з тістом, що відстоявся, закривають кришкою і злегка підкочують на закатковій машині. Випікання-стерилізацію при температурі 220 – 235 °С проводять протягом 70 хвилин. Після закінчення випічки банки закривають.

Спосіб збереження хліба в м'якій тришаровій упаковці та пакетах з поліетилену полягає в тому, що через 2 – 3 години після випічки хліб упаковують у фільтрувальний папір і змочують поверхню 90 % спиртом. Потім у поліетиленовий пакет і крафтпапір. Пакети покривають парафіном, витрати спирту 30 – 35 г на одну булку хліба, 15 – 20 г на батон. Термін зберігання хліба становить 6 місяців.

Способи консервації хліба ненадійні і досить дорогі.

Пропонується [5] один із хімічних способів придушення розвитку збудників картопляної хвороби хліба – спорових паличок *Bacillus mesenteries* та *Bacillus subtilis*. Даний спосіб передбачає підтримку підвищеної кислотності тіста, приготованого опарним способом на рідких дріжджах із встановленням сталої кислотності тіста в межах 4 – 6 градусів або шляхом додавання в початковій стадії приготування тіста 0,1 – 0,2 % оцтової кислоти або оцтовокислого кальцію 0,2 – 0,3 % від ваги борошна [5].

Останніми роками інтенсивно розвивається технологія високотемпературної мікронізації (ВТМ). Суть процесу у швидкісному нагріванні поверхні зерна або крупи до температури понад 100 °С у потоці інфрачервоного (ІЧ) випромінювання [31, 36]. Така технологія призводить до суттєвих змін хімічних, мікробіологічних та фізико-механічних властивостей зерна. ВТМ відрізняється від швидкісного ІЧ-сушіння не тільки дегідратацією зерна, а й зміною технологічних та споживчих властивостей зерна.

Кузнєцов Є.Д. та ін. розробили спосіб виробництва хлібобулочних виробів, що включає підготовку тіста з цільного пророслого зерна, для чого зерно попередньо замочують у воді з температурою 22 – 25 °С на час не більше двох діб до отримання ростків довжиною 1 – 1,5 мм, після чого отриману біомасу піддають гомогенізації при температурі не більше 45 °С, ніж викликають її автоліз, харчові, смакові та лікарські добавки вводять у тісто у вигляді біомаси проростків і пророслого насіння польових садово-городніх культур і лікарських рослин, суміш перемішують до однорідного стану. Розпушування суміші здійснюють продувом через неї повітря, збагаченого вуглекислотою, а випічку виготовляють при температурі 90 – 130 °С. Вуглекислота, присутня у повітрі знезаражує суміш від патогенних мікроорганізмів [40].

Кузнєцов Г.М. та Кузнєцов Ю.Г. розробили спосіб виробництва хліба шляхом зволоження зерна, пророщування його протягом 10 – 16 годин, часткове подрібнення до розмірів частинок 100 – 300 мкм, заміс тіста з використанням компонентів, передбачених рецептурою, випічку протягом 20 – 90 хв при температурі 100 – 250 °С доведення хліба до необхідної вологості шляхом охолодження за допомогою вакуумування з розрідженням до 0,04 атм протягом 2 – 5 хв. При цьому температура хліба падає до 26 – 32 °С, практично миттєво проходячи температуру виникнення та розвитку картопляної хвороби [44]. Цей спосіб дозволяє усунути збудники картопляної хвороби за збереження заданих органолептичних показників.

Попов В.П. та ін. розробили технологічні випічки хліба у вакуумі з розрідженням 40 кПа між двома пластинчастими електродами, що включаються

на час вистоювання та випічки в мережу змінного струму промислової частоти. Розстойку тістових заготовок проводять при напрузі, що подається на електроди рівній 36 В, а випічку – при напрузі 220 В [69].

### 1.3 Існуючі методи знезараження хлібопродуктів енергією ВЧ та НВЧ

Для теплової обробки харчових продуктів використовують електромагнітні поля дециметрового діапазону. Це дозволяє отримувати високу швидкість нагрівання оброблюваних виробів [12, 23].

У літературних джерелах [36] описано теоретичні та експериментальні дослідження, пов'язані з використанням НВЧ-нагріву в харчових технологіях. Описано нові установки НВЧ-нагріву.

Основними чинниками, визначальними темпи зростання температури при діелектричному нагріванні є питома потужність ( $P_{num}$ ), визначається з відношення коливальної потужності НВЧ - генератора до маси вироблюваного виробу  $P_{num}$  і час нагрівання  $\tau$ .

$$P_{num} = f \frac{P_{in}}{v} \cdot \tau$$

При тепловій стерилізації мікроорганізмів внаслідок їхнього вибіркового нагрівання  $P_{пит}$  дає коагуляцію білкових речовин, що входять до складу протоплазми клітин. Внаслідок цього мікроорганізми гинуть не викликаючи псування продуктів [41, 42]. У нашій країні та за кордоном проведено дослідження інтенсифікації термічних процесів шляхом використання високочастотного поля [41, 44]. При цьому процесі нагрівання продукту відбувається по всьому об'єму, незалежно від товщини та коефіцієнта теплопровідності. При цьому об'єкт, що нагрівається, може поглинати значну теплову енергію за дуже короткі проміжки часу [30, 41, 42].

Вплив струмів промислової частоти на різні рідкі середовища (кров, молоко, мікробні суспензії) вивчався давно [20]. Дія струмів високої частоти викликає коливальний рух іонів як у рідкому середовищі, так і безпосередньо в мікробах, що призводить до нагрівання середовища та його пастеризації. При оптимальних режимах обробки електричним струмом клітини мікроорганізмів гинуть, а матеріал зберігає початкові властивості. Розроблено пристрій для пастеризації та стерилізації рідких, в'язких та порційних продуктів (молочних), що складаються з НВЧ-генератора, хвилеводу та трубопроводу з радіопрозорого матеріалу [8].

Проведені дослідження з обробки борошна струмами високої частоти з метою знищення мікроорганізмів не викликали зміни фізико-хімічних властивостей білка, крохмальності, активності ферментів.

Зроблено спроби випікання хліба у полі надвисокої частоти. Характерною особливістю випікання є швидке прогрівання тістової заготовки. Температура внутрішніх шарів тіста підвищується зі швидкістю 30 – 40 °С хвилину, тобто. у 10 разів більше, ніж у звичайних печах. Істотно скорочується тривалість випічки [36].

При цьому способі випікання скоринка є блідою і відсутній приємний колір та аромат хліба.

Цей недолік можна усунути, комбінуючи НВЧ метод нагрівання з обжарюванням хліба, або використовуючи інфрачервоне випромінювання на заключному етапі обробки [33].

Відомий також спосіб вистоювання тістових заготовок у зоні НВЧ [38]. тістові заготовки з дріжджового тіста переміщуються через дві зони НВЧ нагріву між якими є зона «відпочинку». Подібний режим може бути досягнутий програмуванням роботи джерела НВЧ енергії. На першому ступені підготовки тісто нагрівають протягом 20 – 180 с для вирівнювання температури. На другому ступені його знову нагрівають не більше трьох хвилин до 40 – 55 °С. Такий режим забезпечує рівномірне збільшення обсягу заготовок за короткий проміжок часу.

Вченими проведено дослідження та впроваджено способи обробки насіння сільськогосподарських культур струмом високої та надвисокої частоти [8, 9, 10, 11], що дозволяють за певних параметрів ІЧ та НВЧ обробки знизити концентрацію грибів, вірусів та бактерій. Одночасно активізуються процеси схожості, зростання та розвитку рослин [32, 33].

Використання цих методів обробки дозволяє відпрацювати режими обробки товарного зерна, з метою його знезараження.

Існують і комбіновані способи знезараження зерна, що передбачають його обробку пропіоновою кислотою і застосувати електромагнітне поле надвисоких частот [28]. Недоліком цього способу є низька надійність через можливість мікробіологічного псування зерна при вторинних інфекціях.

Розроблено спосіб знезараження матеріалів зернового походження, що полягає в тому, що енергію НВЧ перетворюють на енергію розряду нерівноважної плазми в замкнутому об'ємі та матеріали зернового походження пропускають крізь цей об'єм. При цьому щільність НВЧ-дії визначається величиною 5 – 20 Вт/см. А рівень заповнення потоку зерном становить 10 – 15 %. Час перебування зерна у плазмі визначається отриманням ним дози енергетичної дії 5 – 10 кДж/кг [39].

Лисов Г.В. розробив спосіб і пристрій знезараження матеріалів зернового походження [39]. Він полягає в тому, що енергію НВЧ подають у розрядну камеру у вигляді імпульсів, в камері створюють рециркулюючий газовий потік, плазма під впливом НВЧ - імпульсів і рециркулюючого газового потоку здійснює зворотно продукти зернового походження проходять через розрядну камеру у вигляді вільно падаючого потоку. Установа отримала назву ПЛАССТ-5 (плазмова стерилізація, 5 т/год). Аналіз стану та використання техніки НВЧ плазмових реакторів показав, що пристрої, здатні реалізувати пропонований спосіб стерилізації продуктів зернового походження у виробничих умовах не вивчені.

Також розроблено спосіб підготовки зерна до переробки в борошно, згідно з яким зерно попередньо доводять до вологості 35 – 40 %, потім ведуть

електромагнітну обробку в багатомодульному НВЧ-полі циклічно до досягнення вологості зерна 18 – 20 %, кожен цикл обробки здійснюють при частоті поля 2375 – 3000 МГц з одночасною продуванням повітрям з температурою 15 – 20 °С до досягнення температури зерна 44 – 55 °С, а між циклами обробки зерно додатково продувають повітрям до температури зерна 25 – 30 °С [37, 41],

Спосіб підготовки зерна до помелу полягає в тому, що зерно зволожують до 22 – 28 %, НВЧ-обробку зволоженого матеріалу проводять з одночасною продувкою повітрям до досягнення вологості 16 – 18 % [37],

В даний час для стерилізації хліба використовують усі джерела тепла, які дозволяють досягти в центральних шарах м'якуша хліба температуру вище 75 °С: хлібопекарські печі, стерилізаційні шафи, апарати для ІЧ-опромінення та ін.

При використанні мікрохвильового нагріву вирішальна роль відводиться характеристиці пакувального матеріалу його здатності пропускати або відображати мікрохвилі. Полімерні матеріали прозорі для мікрохвиль. При необхідності посилення нагріву матеріал покривають шаром суспензора (алюміній завтовшки 50Е (ангстрем), що збільшує температуру поверхні матеріалу.

Богатирьова Т.Б., Поландова Р.Д. та Полякова С.Р. [28] пропонують НВЧ методи знезараження готової хлібопекарської продукції – це запобігає пліснявінню та розвитку тягучої хвороби.

При використанні технології мікрохвильового нагріву вирішальна роль відводиться характеристиці пакувального матеріалу та його здатності пропускати або відбивати електромагнітні хвилі. Полімерні матеріали є прозорими для електромагнітних хвиль. При необхідності посилення нагріву на пакувальний матеріал накладається шар суспензора (алюменіт товщиною 50Е (ангстрем), що збільшує температуру нагрівання поверхні полімерного матеріалу.

Перспективним є підвищення бар'єрних властивостей пакувального матеріалу за рахунок комбінування їх із антимікробними добавками. В даний час отримані полімери, що мають бактерицидні властивості з введенням у розплав полімеру сорбату калію та солей пропіонової кислоти.

В даний час розширюється виробництво хліба в упакованому вигляді, а це, як відомо, вимагає особливих заходів попередження його мікробіологічного псування.

Тому поєднання очищення зерна при підготовці до помелу та обробки борошна на борошномельних підприємствах або в хлібопекарському виробництві зернового хліба з сучасними та ефективними методами НВЧ нагріву дозволять знизити бактеріальну обсімененість борошна та готового хліба при значній інтенсифікації цих процесів.

### Висновки до розділу

Аналіз існуючих методів та технічних засобів підготовки зерна до розмелу, з попереднім його знезараженням від спор картопляної палички та пліснявими грибами, нині мають високі матеріальні та енергетичні витрати, суперечливі відомості про ефективність використання методів та отримання екологічно чистої та безпечної для людини хлібопродукції.

Використання НВЧ-полів з метою знезараження зерна від спорової та бактеріальної мікрофлори є найперспективнішою, оскільки в процесі впливу поля не використовуються хімічні речовини, не утворюються шкідливі для людини продукти розкладання та згоряння.

Даний спосіб нагрівання найбільш швидкий, продуктивніший, що має хороші енергетичні та економічні показники.

## 2 ТЕОРЕТИЧНА МОДЕЛЬ ОБГРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ЗЕРНА ЕНЕРГІЄЮ НВЧ-ПОЛЯ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ЗЕРНОВОГО ХЛІБА

2.1 Обґрунтування запропонованого технологічного процесу виробництва зернового хліба

З урахуванням сучасного стану питання щодо зараженості зерна та продуктів його переробки та існуючої технології виробництва зернового хліба необхідно перебудувати існуючу технологію для того, щоб покращити якісні показники хлібної продукції.

З цією метою пропонується технологія виробництва зернового хліба з включенням електротехнологічного процесу знезараження зерна енергією НВЧ-поля (рис. 2.1).



Рисунок 2.1 – Функціональна схема пропонуваної технології виробництва зернового хліба.

Як вже було встановлено результатом життєдіяльності мікрофлори, що паразитує, є структурні зміни в клітинних структурах окремо кожної зернівки. Хворі некротні ділянки насіння чи окремі уражені його клітини мають різко

відмінні електрофізичні властивості, тобто коефіцієнт діелектричних втрат. Тому рівень поглинання енергії електромагнітного поля високих чи надвисоких частот у них різний. Знаходження найсприятливіших умов для посилення ефекту вибіркової спроможності поглинання зовнішнього електромагнітного поля різними біологічними структурами зерна (білками, вуглеводами та жирами) і паразитуючої на них мікрофлори є однією з умов знезараження зерна при виробництві зернового хліба.

Умови посилення ефекту вибіркової здатності поглинання зовнішнього електромагнітного поля різними біологічними структурами зерна встановлені [8, 9, 10] і полягають у попередньому зволоженні зерна при якому спори та міцелії грибів при попаданні вільної вологи в біологічні структури зерна активізують свою життєдіяльність у порівнянні з білками клітин, у яких міститься дуже незначна кількість жиру.

Біологічні структури зерна завжди мають меншу вологість по відношенню до бактерій, грибів та вірусів.

Тим більше спори, і їх гриби та бактерії щодо відносного вмісту жиру значно перевищують білкові та вуглеводні структури насіння.

В енергонасиченому електромагнітному полі НВЧ основна енергія поглинатиметься відносно більшою мірою спорами і бактеріями та грибами.

Тому третій елемент пропонованої технологічної схеми передбачає замочування зерен протягом 4-х годин для активізації і особливо спор, бактерій та грибів та подальшої НВЧ обробки при встановленні відповідних ефективних режимів знезараження. Надалі проводиться повторне замочування для посилення ферментативних процесів і кращого екструдуювання для більш якісної тістової маси.

Послідовність операцій при використанні НВЧ методу підготовки зерна для виробництва зернового хліба дозволяє зробити висновок про системне знезараження отриманої хлібної продукції та покращення її якісних показників.

## Висновки до розділу

В розглянутому розділі кваліфікаційної роботи обґрунтовано запропоноване технологічне рішення процесу виробництва зернового хліба, а саме запропоновано запровадити операції знезараження зерна в полі НВЧ.

### 3 МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНИХ РЕЖИМІВ НВЧ ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ЗЕРНА ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ЗЕРНОВОГО ХЛІБУ

#### 3.1 Обґрунтування та вибір параметрів процесу знезараження зерна ЕМПНВЧ

Виходячи з мети та поставлених завдань на основі розроблених теоретичних моделей необхідно розробити методику проведення досліджень щодо визначення ефективних режимів знезараження зерна енергії НВЧ-поля від спороутворюючих бактерій та грибів та збереження хлібопекарських властивостей зерна.

Для встановлення впливу режимів НВЧ-енергії на якісні показники зерна розглядалися основні параметри НВЧ поля, що визначають зміну зараженості зерна, та його хлібопекарські властивості.

Теоретичними дослідженнями встановлено, що до режимних параметрів впливу НВЧ-енергії відносяться  $P_{num}$  – питома потужність НВЧ поля, що виділяється в різних структурах зерна  $\tau$  – час впливу, с. та  $K = \varepsilon \cdot tg$  коефіцієнт діелектричних втрат різних біологічних об'єктів.

$$P_{num} = 0,55 f E^2 \xi tg \delta \text{ Вт/см}$$

де  $f$  – частота коливань електромагнітного поля;

$E$  – напруженість електромагнітного поля;

$\xi$  – діелектрична проникність різних структур зерна;

$tg \delta$  – тангенс кута діелектричних втрат різних структур зерна бактерій та інших спорових інфекцій.

До вихідних параметрів можна віднести наступне:

- температура нагріву;
- зараженість хлібопродуктів;
- стан білкового комплексу зерна за вмістом та якістю клейковини;

- хлібопекарські якості зерна, сила зернового тіста, формостійкість, газотримуюча здатність білкового комплексу, цукроутворююча здатність.

Якість зерна контролювалася за такими показниками: вологість, наявність хвороб та шкідників, бур'ян, вміст клейковини та її якість. Під час підготовки зерна до екструдювання насамперед звертали увагу до зараженість і кількісно-якісні показники клейковини [23, 36, 41].

Відповідно до плану експерименту та теоретичним передумовам дослідження в якості вхідних параметрів були обрані:

- питома потужність НВЧ ( $P_{\text{пит}}$ , Вт/дм<sup>3</sup>);
- час обробки (експозиція  $\tau$ , с);
- попередня вологість зерна, %.

Вивчався вплив даних параметрів на життєдіяльність мікрофлори та якісні показники зерна.

Відповідно до основної ідеї електротермічного знезараження, досліджуваний матеріал необхідно нагріти до гранично допустимої температури за певний період часу.

Для визначення гранично-допустимої температури так само використовували поєднання основних параметрів експозиції  $\tau$  та питомої потужності  $P_{\text{пит}}$ .

Розробити методика щодо визначення впливу ефективних режимів НВЧ обробки на зараженість та якісні показники зерна та зернового хліба.

Встановлено, що поки температура нагрівання зернової маси не перевищує значення «дозволеної» для вихідної вологості та часу її нагрівання, то якість насіння не погіршується, тобто. енергія проростання та схожість збільшуються [28, 39, 40] (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Залежність гранично допустимої температури нагріву від вологості зерна та часу перебування його у нагрітому стані

Експозиція	Вологість, %						
	5	10	15	20	25	30	35
1 с	96,3	92,1	88,4	85,2	82,3	74,8	77,6
5 с	89,8	65,1	81,4	78,2	76,3	72,8	70,6
10с	86,3	82,1	79,4	75,2	72,3	69,8	67,6
20 с	83,3	79,1	75,4	77,2	69,3	66,8	67,6
30с	21,5	73,0	73,6	70,4	67,5	65,0	62,8
40 с	80,2	76,0	72,3	69,1	66,2	63,1	61,5
50 с	79,4	75,2	71,5	63,3	65,4	62,9	60,7
1 хв	73,4	74,2	70,4	67,4	64,5	62,1	57,8
3 хв	73,6	69,4	65,8	63,6	69,0	57,3	55,0
5 хв	71,5	67,4	63,6	60,4	57,6	55,2	52,8
10 хв	68,5	64,4	60,4	57,4	54,4	52,2	49,8
15 хв	66,7	62,4	58,8	55,6	52,8	50,4	48,0
30 хв	63,6	59,6	55,8	52,6	49,8	47,4	45,0

Таким чином, оптимальне поєднання температури нагрівання з вологістю зернової маси та часом перебування у нагрітому стані може забезпечити знезараження при збереженні її якісного складу.

Так як бактерії та гриби розташовані в основних шляхах руху вологи, вони і звожуються швидше стаючи активнішими, ніж біологічні структури зерна. Отже, вони будуть більш вразливими до високого впливу температури при їхньому виборчому нагріванні у НВЧ-полі.

Щоб збільшити швидкість нагрівання, для досліджень вибрано частоту  $f=2400$  мГц , дозволена для промислового виробництва та яка застосовується для обробки харчових продуктів.

На основі теоретичного обґрунтування та розрахунків для проведення досліджень обрані наступні вхідні параметри та їх межі:

$P_{\text{пит}}$  – питома потужність 162 – 485 Вт/дм<sup>3</sup>;

$\tau$  – час обробки (експозиція) 30/120 с;

$t$  – час зволоження 6 – 24 год.

3.2 Методики дослідження на вплив ефективних режимів обробки на зараженість та якісні показники зерна енергій НВЧ-поля

Для визначення ефективних режимів знезараження мікробіологічний аналіз зерна проводився відповідно до ГОСТів [37, 46] та літературних даних [25, 26]:

- загальної кількості мезофільних аеробних та факультативно-анаеробних мікроорганізмів ( МАФАіМ );
- бактерій групи кишкових паличок (БГКП);
- кількості пліснявих дріжджів.

Метод визначення загальної кількості мезофільних аеробних та факультативно-анаеробних мікроорганізмів ґрунтувався на:

- висіву розведень певної кількості продукту в живильне середовище;
- культивування посівів в аеробних умовах при температурі  $(30 \pm 1) ^\circ\text{C}$  протягом 72 годин;
- підрахунку всіх мезофільних аеробних та факультативно-анаеробних мікроорганізмів та перерахунку їх кількості на 1 г продукту.

Як живильне середовище використовувався м'ясо-пептонний агар. Метод визначення бактерій ґрунтувався на:

- висіву певної кількості продукту та його розведень у пробірки з рідким селективно-діагностичним лактозним середовищем;
- культивування посівів в аеробних умовах при температурі  $(37 \pm 1) ^\circ\text{C}$  протягом 48 годин;
- обліку пробірок, у яких відзначено зростання грам негативних коротких паличок, що ферментують лактозу з утворенням кислоти та газу.

Як рідке середовище використовувалося середовище Кесслера. Для підтвердження наявності зростання використовувався метод пересіву з рідкого середовища петлею на поверхню щільного середовища Ендотермостатування при температурі  $(37 \pm 1)$  °С протягом 24 годин, додатково ставився оксидазний тест і проводилося забарвлення по рамі. Визначалося найбільш ймовірне число (НВЧ) бактерій групи кишкових паличок.

Метод визначення кількості пліснявих грибів та дріжджів ґрунтувався на:

- висіві розведень певної кількості продукту в селективне агаризоване середовище;
- культивування посівів при температурі  $(24 \pm 1)$  °С протягом 120 годин;
- підрахунку всіх видимих колоній пліснявих грибів і дріжджів, типових по макро-і мікроскопічної морфології та перерахунку їх кількості на 1 г продукту.

Як селективне середовище використовувався агар Сабуро.

Результати оцінювалися з кожної пробі окремо. Аналіз з усіх методів проводився у трьох повтореннях. Результати дослідів щодо варіантів обробки наводилися у відповідних таблицях.

Для проведення дослідів для кожного варіанту відбиралися однакові наважки зерна, які поміщалися в хімічні склянки однакового розміру та об'єму, які потім поміщали в електромагнітне поле надвисокої частоти та обробляли в заданих режимах відповідно до обраного плану експерименту.

Після виходу із ВЧ камери у зерна визначали температуру нагрівання. З оброблених наважках зерна перевірявся вміст клейковини та її якість за ГОСТ 27839-88. Відмивання клейковини проводилося вручну. Кислотність тіста визначалася за ГОСТ 27493. Автолітична активність визначалася за ГОСТ 27676-88 «Визначення числа падіння за приладом ПЧП».

Хлібопекарські властивості борошна, обробленого за планом експерименту, визначалися за пробною випічкою ГОСТ 27669. Кількість води на заміс тіста визначалася виходячи з фактичної вологості борошна.

Вологість тіста витримана згідно з вищевикладеним ГОСТом у межах 44,5 %.

Якість хліба оцінювали не раніше, ніж через 4 години після випічки, але не пізніше ніж через 24 години. Для оцінки брали формовий хліб більшого об'єму.

Об'єм випеченого формового хліба визначали за допомогою вимірювача марки РЗ-БЮ.

Висоту та діаметр подового хліба визначали за допомогою вимірювача марки У1-ЕІХ або лінійкою з міліметровими поділками.

Органолептичну оцінку випеченого хліба проводили за ГОСТ 27669-88.

Тріщинами вважали розриви, що проходять через верхню кірку в одному або кількох напрямках.

Підривами вважали розриви між бічною і верхньою кіркою у формового або кола нижньої кірки у подового хліба: дрібні розриви до 0,5 см; великі – понад 0,5 см.

Еластичність м'якшу визначали шляхом натискання на нього пальцями на глибину не менше ніж 1 см.

Еластичність визнавали «хорошою» за повного відновлення деформації м'якуша, «середній» - за майже повного відновлення деформації м'якуша і «поганий» - за зам'ятості м'якуша.

Смак та хрускіт хліба визначали органолептичними методами.

#### Висновки до розділу

В даному розділі кваліфікаційної роботи розглянуто методикку визначення ефективних режимів НВЧ знезараження зерна при виробництві зернового хлібу, а саме виконано обґрунтування та вибір параметрів процесу знезараження зерна ЕМПНВЧ та запропоновано методики дослідження на вплив ефективних режимів обробки на зараженість та якісні показники зерна енергій НВЧ-поля.

## 4 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ НВЧ-ЕНЕРГІЇ НА МІКРОФЛОРУ ТА ЯКІСНІ ПОКАЗНИКИ ЗЕРНА

### 4.1 Результати впливу параметрів НВЧ-енергії на температуру нагріву зерна

Для комплексного дослідження впливу параметрів НВЧ-нагріву на життєздатність бактерій картопляної палички та іншої мікрофлори та на якісні показники зерна, зерно оброблялося на різних режимах НВЧ-печі загальною потужністю 2 кВт. На першому етапі зерно попередньо перед електронагрівом відволожувалось протягом 8 годин і потім на різних режимах нагрівалося до певної кінцевої температури за методикою активного планування експерименту .

Результати реалізації матриці експерименту наведено у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Результати досліджень впливу параметрів НВЧ-поля на температуру нагріву зерна

№ варіанта	Режим впливу		Температура, °С
	Експозиція( $\tau$ , с )	Питома потужність, ( $P_{пит}$ Вт/дм <sup>3</sup> )	
1	80	486	95
2	40	486	66
3	80	162	78
4	40	162	38
5	80	324	91
6	40	324	63
7	60	486	90
8	60	162	53
9	60	324	73
Контроль	0	0	16

В результаті обробки отриманих даних щодо визначення значимих коефіцієнтів отримано адекватне рівняння регресії, що зв'язує вихідний параметр

– температуру нагріву зерна і мікрофлори, що знаходяться на ньому, з експозицією  $\tau$  ( $X_1$ ) нагріву зерна і питомою потужністю  $P_{num}$  ( $X_2$ ):

$$y_1 = 75,8 + 16,2x_1 + 13,7x_2 - 5,7x_2^2 - 2,75x_1x_2$$

В результаті табулювання даного рівняння у програмі Excel на персональному комп'ютері, використовуючи програму Excel були побудовані графічні залежності одного з вихідних параметрів температури нагрівання зерна  $y_1$  від вхідних параметрів: питомої потужності  $P_{num}$  та часу обробки  $\tau$ .

Результати досліджень впливу різних режимів НВЧ на температуру нагрівання зерна і мікрофлори, що міститься в ньому, наведені на рис. 4.1 та рис 4.2.

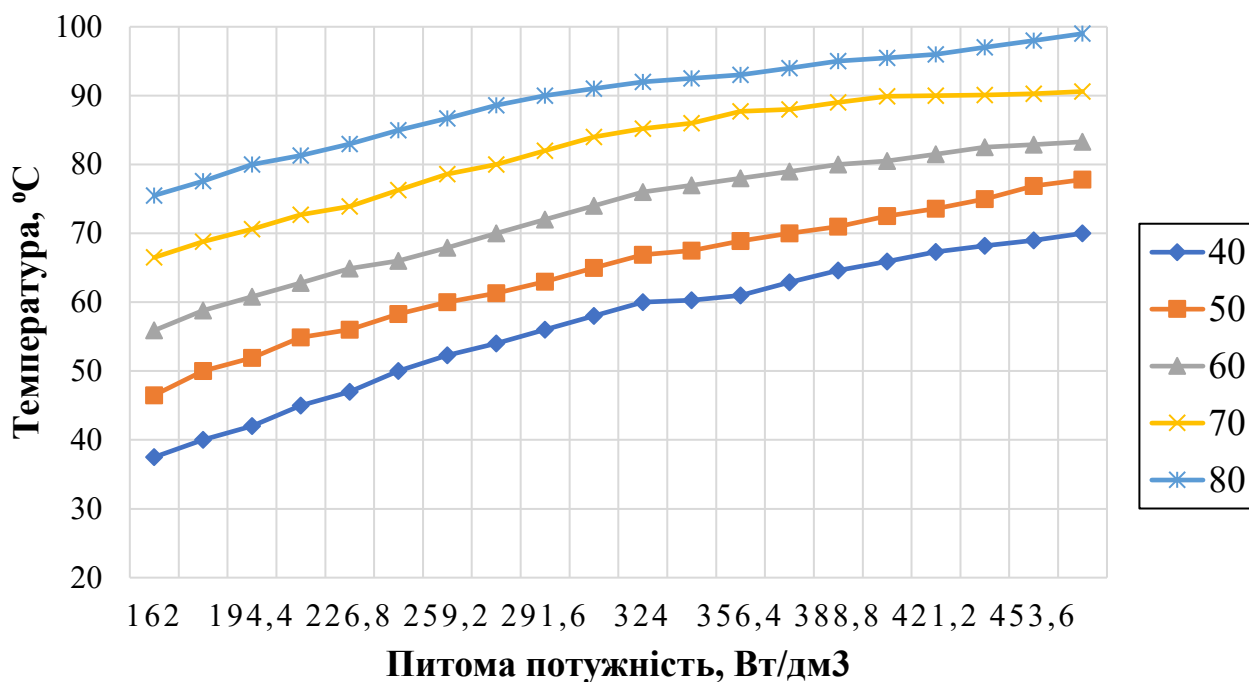


Рисунок 4.1 – Залежність температури нагрівання зерна від параметрів НВЧ – обробки на певних рівнях питомої потужності  $P_{num}$  та експозиції  $\tau$

Аналіз впливу режимів НВЧ нагріву на попередньо зволожені зерна, що мають до 16 – 18 % вологості при 8-ми годинному відволоженні показує

практично пряму залежність температури нагріву з урахуванням теплових втрат від параметрів НВЧ-поля (рис. 4.1) нагріву 40 с і мінімальної питомої потужності 162 Вт/дм<sup>3</sup>.

Максимальна температура нагріву зерна 97 °С спостерігається за максимальної питомої потужності 486 Вт/дм<sup>3</sup> і часу нагрівання 80 с.

Вплив параметрів НВЧ нагріву на температуру нагріву зерна в залежності від питомої потужності  $P_{num}$  на різних рівнях часу нагріву характеризується практично прямою залежністю температури нагріву від питомої потужності і відрізняється за величиною залежно від вибраного кроку часу нагріву. Чим менший час нагрівання тим нижча температура. Чим вище час нагріву, тим вище кінцева температура нагріву зерна. Розкид за температурою нагріву на різних режимах лежить у межах 97 °С час нагрівання від 40 до 80 °С.

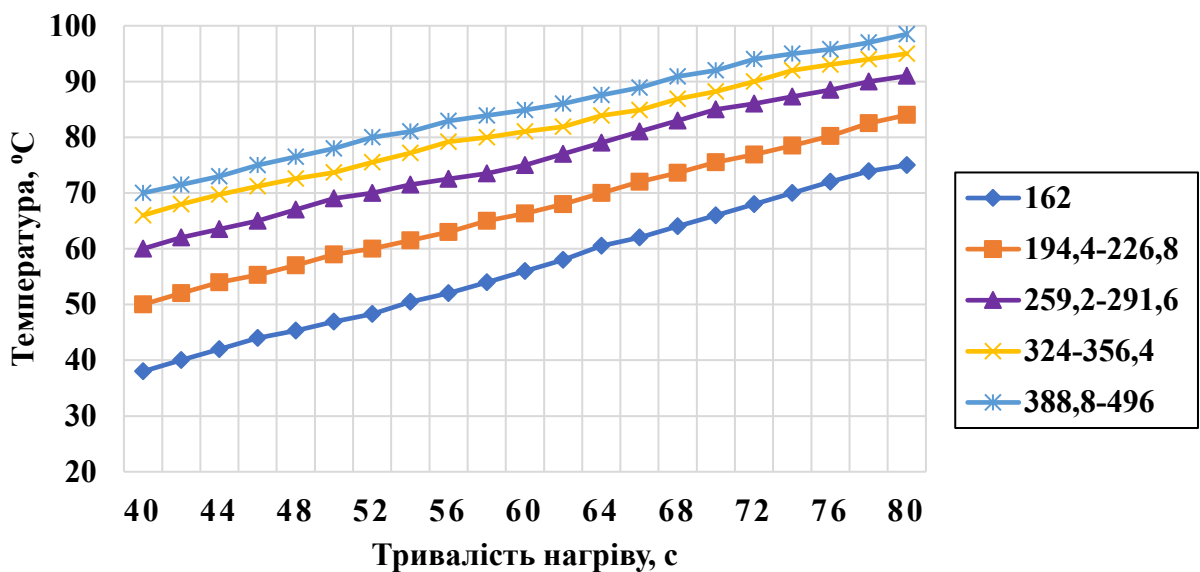


Рисунок 4.2 – Залежність температури нагріву зерна від параметрів НВЧ-обробки

Аналіз рис. 4.2 показує, що при максимальних питомих потужностях  $P_{num} = 390 - 486$  Вт/дм<sup>3</sup> температура нагріву зерна істотно не змінюється і лежить при 80 с часу нагріву практично на одному рівні 96 – 98 °С. Найменше значення питомої потужності 162 Вт/дм<sup>3</sup> при 80 °С нагріву призводять до найбільш істотної різниці при температурі нагрівання зерна відповідно від 75 до 93°С.

Аналіз даних наведених на перерахованих вище Рисунках показує, що при високих швидкостях НВЧ нагріву втрати тепла в навколишнє середовище практично відсутні, що робить цей вид нагріву економічним і менш енергоємним.

#### 4.2 Результати дослідження впливу параметрів НВЧ поля на знезараження зерна від бактерій *Bacillus subtilis*

Для перевірки впливу НВЧ на знезараження зерна від бактерій *Bacillus subtilis* та інших хвороб вибиралися найбільш заражені партії зерна на рівні обсіменіння до 700 бактерій у 1 граму. На підставі попередніх досліджень встановлено, що найбільша активність бактерій проявляється при попередньому 8-годинному відволожуванні зерна перед підготовкою тіста при виробництві зернового хліба.

За цей проміжок часу зволожені спори починають проростати і переходять у стан бактерій вже більш вразливих до температурного вибіркового нагрівання НВЧ енергією за рахунок більшої провідності, ніж здорові тканини зерна.

Після визначення кінцевої температури зерна за розробленою в розділі 3 методикою та за результатами проведених досліджень на вміст у дослідних зразках бактерій *Bacillus subtilis* за даними таблиці 4.2.

Отримано рівняння регресії, що показує залежність зараженості від енергетичних параметрів НВЧ-поля температурних показників НВЧ-обробки:

$$y_2 = 20,5 - 16,4x_1 - 8,8x_2 + 10,8x_2^2 + 5,7x_1x_2$$

Контрольний зразок зерна за середнім значенням мав рівень обсіменіння до 660 бактерій у грамі.

Для встановлення ефективних режимів обробки зерна в ЕМПНВЧ за отриманими даними побудовано залежність рис. 4.3 – 4.4. На рис. 4.4 показано залежність впливу НВЧ обробки на спори *Bacillus subtilis*. При режимі  $P_{num}=162$  Вт/дм<sup>3</sup> спостерігається зниження концентрації спор картопляної палички до 50

шт/г. Переважання поверхневої вологи викликає сильне нагрівання поверхні зерна і як наслідок нагрівання спор *Bacillus subtilis* що знаходяться на поверхні.

Таблиця 4.2 – Результати дослідження впливу параметрів НВЧ на знезараження та бактерій *Bacillus subtilis*

№ варіанта	Режим впливу		Температура, °С	Показник обсемененості, спор/г		
	Експозиція	Питома потужність, ( $P_{num}$ Вт/дм <sup>3</sup> )		1	2	3
1	80	486	95	50	50	30
2	40	486	66	230	230	200
3	80	162	78	50	50	50
4	40	162	38	360	390	370
5	80	324	91	80	50	50
6	40	324	63	370	330	330
7	60	486	90	50	50	50
8	60	162	53	90	160	100
9	60	324	73	140	160	140
10	Контроль			600	680	700

Вибіркова дія НВЧ нагріву дозволяє використовувати більш високі температури в зоні розташування спор та знижує заспореність до рівня до 43 шт/г.

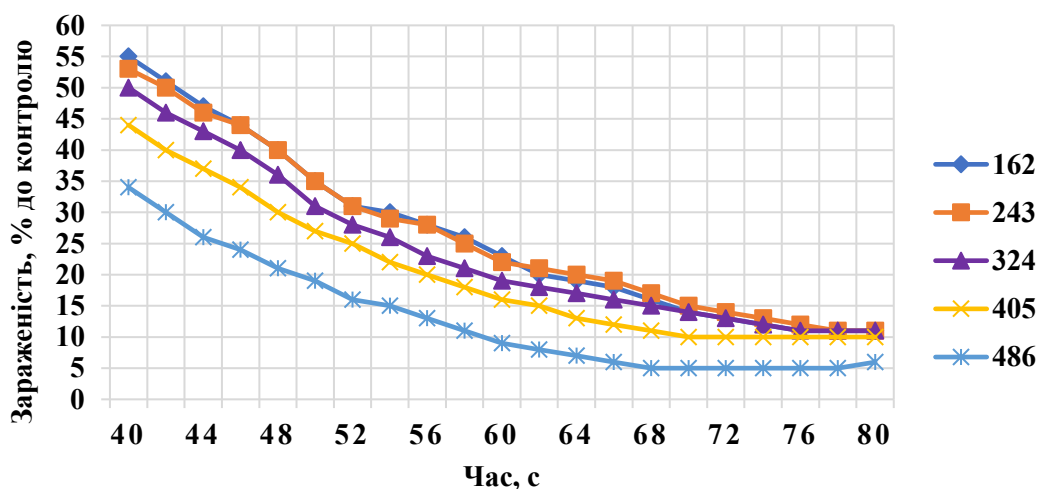


Рисунок 4.3 – Залежність зараженості зерна *Bacillus subtilis* і часу нагріву від параметрів НВЧ-поля на певних рівнях питомої потужності  $P_{num}$  та експозиції  $\tau$ .

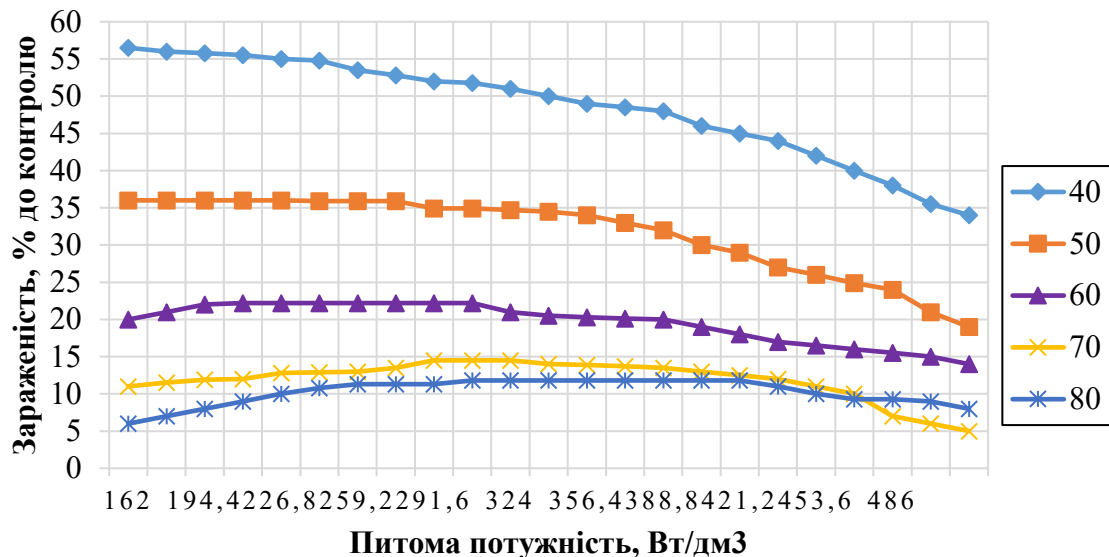


Рисунок 4.4 – Залежність зараженості зерна *Bacillus subtilis* параметрів НВЧ-обробки та часу нагріву на певних рівнях питомої потужності  $P_{num}$  і експозиції  $\tau$

З рисунків наочно видно, що вже за 40 с обробки в НВЧ-поле при питомій потужності поля від 162 до 486 Вт/дм<sup>3</sup> обсіменіння скорочується більш ніж у 2 – 2,5 рази і досягає меж вмісту бактерій в 1 грамі зерна до 250 шт.

Спостерігається пряма залежність впливу максимальної потужності 486 Вт/дм<sup>3</sup> рівень зниження обсіменіння зерна. Вже час обробки 60 с всі бактерії, що знаходяться в активному стані, практично гинуть.

Залишається менше 50 спор, що не проросли в 1 грамі, але це очевидно суперечки перебувають у стані спокою які не гинуть навіть при температурі нагріву більше 130 °С.

Збільшення питомої потужності до 486 Вт/дм<sup>3</sup> (рис. 4.3) не призводить до істотного зниження обсіменіння і приблизно на всіх режимах при  $P_{num} = 162 - 486$  Вт/дм<sup>3</sup> і часу обробки від 70 до 80 с лежить на одному рівні 45 до 75 спор в 1 грамі зерна.

Залежно, наведені на рис. 4.4 свідчать про те, що справді суттєвий вплив на зараженість бактеріями картопляної палички надає час НВЧ-обробки та температура нагріву зерна на різних режимах. При збільшенні періоду впливу НВЧ енергії значно зростають температури нагрівання зерна і природно бактерії

картопляної палички при вищій температурі гинуть, а спори, що проросли в незначній кількості очевидно виживають. Цей процес вимагає подальшого глибшого біологічного дослідження.

#### 4.3 Результати досліджень щодо впливу параметрів НВЧ обробки на зараженість грибами роду *Penicillium* та *Fusarium*

Результати дослідження впливу НВЧ енергії на зараженість зерна грибами роду *Penicillium* наведені в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Результати дослідження впливу НВЧ знезараження на гриби роду *Penicillium* зерна пшениці м'якої після 8 годинного відволоження

№ варіанта	Режим впливу		Температура, °С	Показник КУО/1 г		
	Експозиція, с	Питома потужність, ( $P_{num}$ Вт/дм <sup>3</sup> )		1	2	3
1	80	486	95	0	0	0
2	40	486	66	13	13	13
3	80	162	78	7	7	6
4	40	162	38	5	7	5
5	80	324	91	0	0	0
6	40	324	63	18	17	17
7	60	486	90	0	0	0
8	60	162	53	13	18	16
9	60	324	73	0	0	3
Контроль	0	0	16	18	20	23

В результаті реалізації матриці отримано адекватне рівняння, що зв'язує основний вихідний параметр  $y_3$  – зараженість грибами роду *Penicillium* з основними вхідними параметрами  $P_{num}$  ( $X_2$ ) – питома потужність і  $\tau$  ( $X_1$ ) – час обробки.

Дане рівняння виглядає так:

$$y_3 = 15,0 - 8,7x_1 - 4,8x_2 + 12,8x_1^2 + 5,6x_2^2 - 22,4x_1x_2$$

В результаті табулювання даного рівняння за програмою Excel, було отримано графічні залежності одного з вихідних параметрів  $y_3$  – зараженості зерна роду *Penicillium* від вхідних параметрів,  $P_{num}$  – питомої потужності та  $\tau$  – часу обробки.

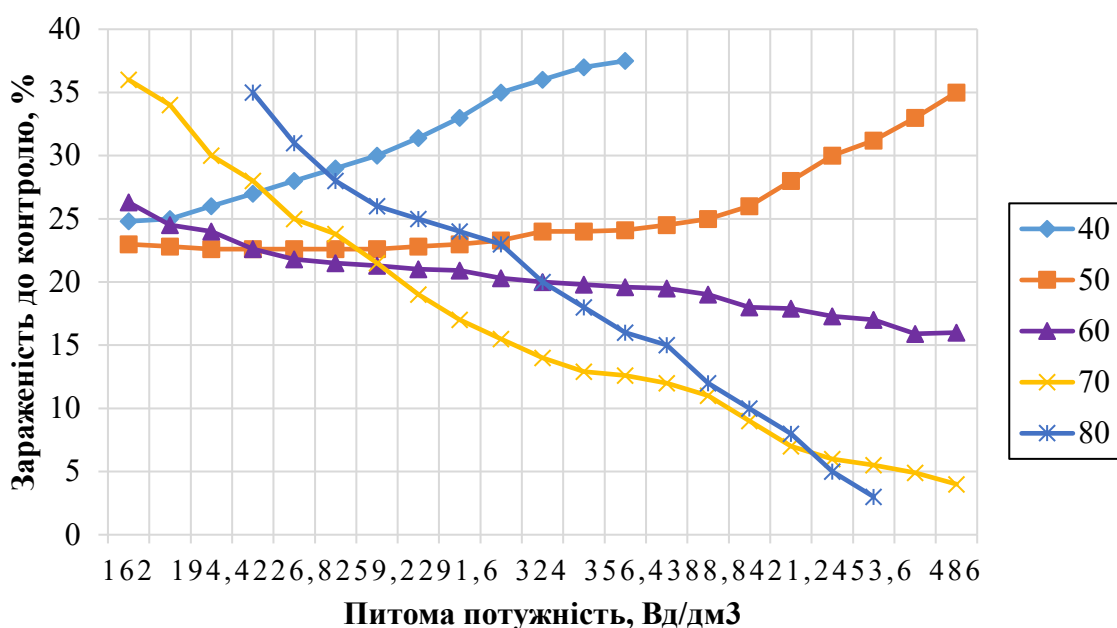


Рисунок 4.5 – Залежність зараженості зерна *Penicillium* від параметрів НВЧ-обробки на певних рівнях питомої потужності  $P_{num}$  та експозиції  $\tau$

З наведених залежностей приведених на рисунках, встановлено жорсткий практично прямий вплив НВЧ енергії на розвиток грибної інфекції роду *Penicillium*. При максимальних та близьких до середніх значень питомої потужності та часу обробки від 66 с і вище настає 100 % знезараження зерна від грибів роду *Penicillium*. Це дуже важливо, оскільки згодом перебування цих грибів у тісті і потім у хлібобулочних виробах викликає їх розвиток у вигляді

зеленої плісняви хлібопродукції на ранніх стадіях зберігання. Такий хліб при подальшому його споживанні дуже шкідливий для людини.

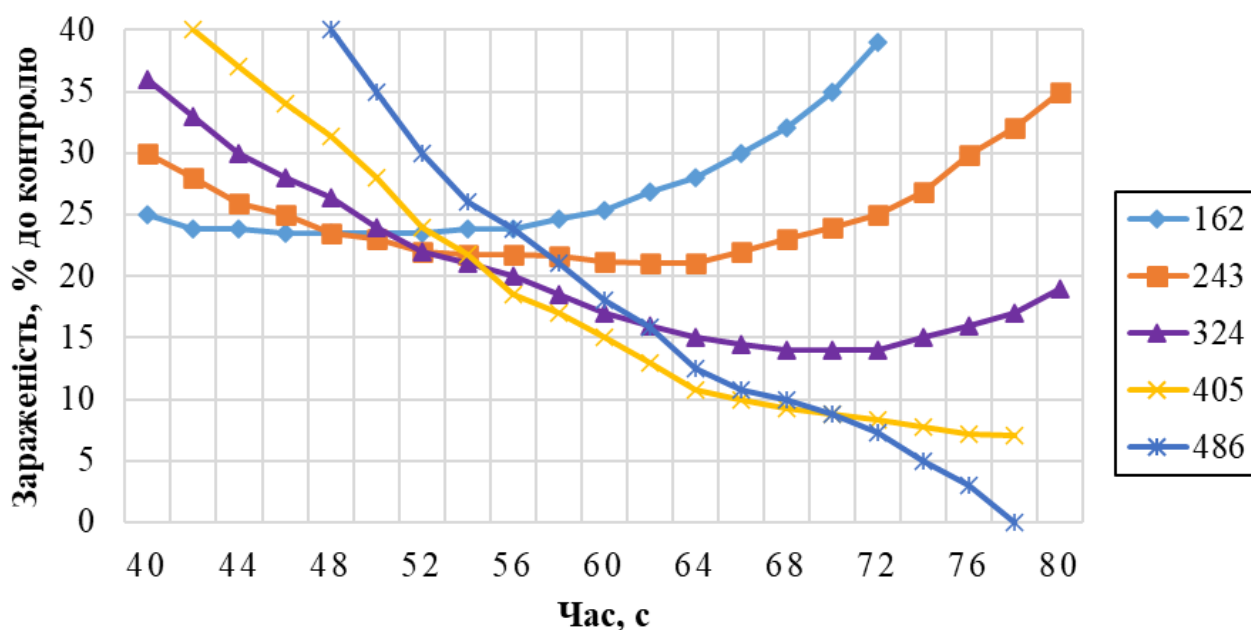


Рисунок 4.6 – Залежність зараженості дробленого зерна *Penicillium* від параметрів обробки СВЧ-поля на певних рівнях питомої потужності  $P_{\text{ном}}$  та експозиції  $\tau$

Допустимий вміст гриба *Penicillium* у хлібних продуктах допускається ГДК = 0,02 – 0,05 мг/кг.

Виявлено одну суттєву особливість (рис. 4.5) на режимах при питомій потужності близької до середнього значення та менших її значень, тобто досить м'які режими нагрівання навіть за тривалого часу дії від 66 до 80 с призводить до збільшення відсотка зараженості грибами роду *Penicillium*.

Очевидно, при максимальних значеннях питомої потужності сукупний температурний вплив та вплив СВЧ-енергії призводить до активізації росту грибів роду *Penicillium* у зерні і збільшуватиме їх кількість у тісті та хлібі, що неприпустимо.

Це особливо наочно підтверджується залежністю зараженості від різних значень потужності при різних рівнях часу впливу СВЧ енергії у зерні та відповідно на їхню обсіміненість грибами роду *Penicillium*.

За мінімального значення часу впливу  $\tau=40$  с. (рис. 4.6) при всіх значеннях питомої потужності у досліджуваному діапазоні йде пряма залежність збільшення зараженості зерна грибами роду *Penicillium*. Мінімальний час впливу НВЧ-енергії на зерно, що активізують життєдіяльність міцелію грибів роду *Penicillium*, викликаючи їх бурхливе зростання, що явно не бажано при виробництві та зберіганні тіста та хліба.

Дані режими не рекомендуються використовувати при термообробці зерна під час виробництва хлібобулочних виробів.

Результати дослідження впливу параметрів НВЧ-енергії на знезараження гриби роду *Fusarium* інфекцій, наведені у таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Результати досліджень НВЧ знезараження грибами роду *Fusarium* зерна пшениці м'якої після 8 годинного відволоження

№ варіанта	Режим впливу		Температура, °C	Показник КУО/1 г		
	Експозиція, с	Питома потужність, ( $P_{num}$ Вт/дм <sup>3</sup> )		1	2	3
1	80	486	95	0	0	0
2	40	486	66	4	7	6
3	80	162	78	3	7	3
4	40	162	38	8	7	5
5	80	324	91	0	0	0
6	40	324	63	5	3	5
7	60	486	90	0	0	0
8	60	162	53	0	0	0
9	60	324	73	0	0	0
10	Контроль			7	8	9

В результаті отримано адекватне рівняння, що зв'язує основний вихідний параметр  $y_4$  – зараженість грибами роду *Fusarium*, з основними вихідними параметрами  $P_{num}$  ( $X_2$ ) – питома потужність і  $\tau$  ( $X_1$  – час обробки).

Дане рівняння виглядає так:

$$y_4 = 3,5x_1^2 + 1,3x_2^2 + 2,1x_1 - 0,9x_2 - 0,8x_1x_2$$

В результаті табулювання даного рівняння в програмі, отримані наступні графічні залежності (рис. 4.7 – 4.8).

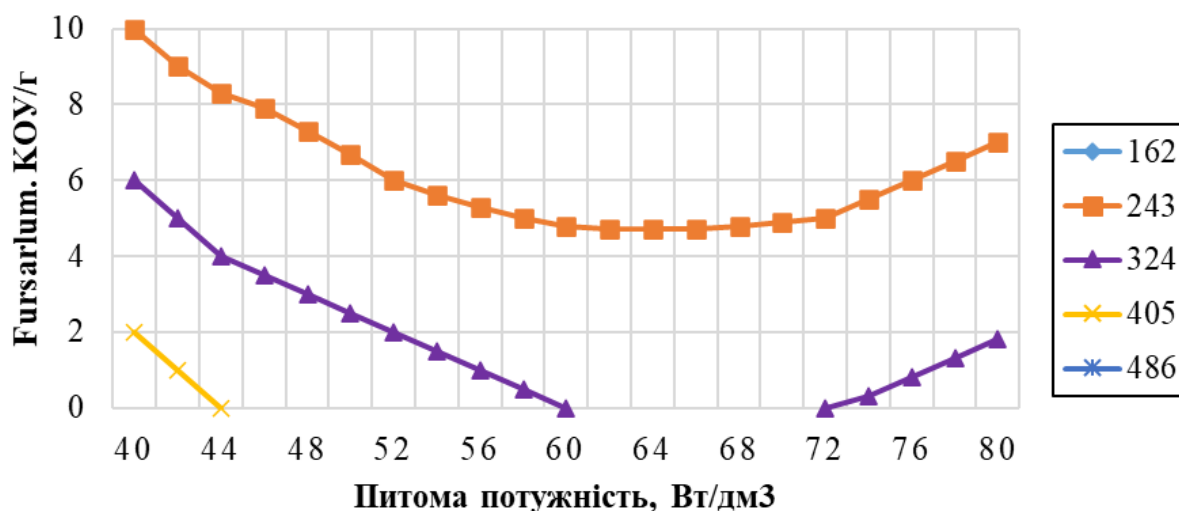


Рисунок 4.7 – Залежність зараженості зерна грибами роду *Fusarium* від параметрів НВЧ-обробки та різних рівнів часу нагріву

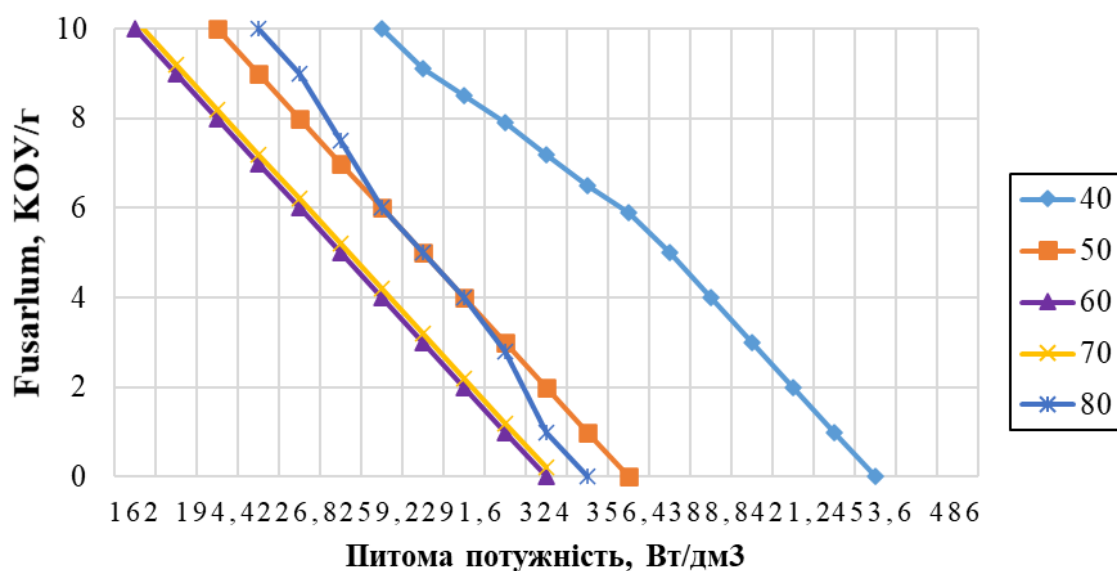


Рисунок 4.8 – Залежність зараженості зерна грибами роду *Fusarium* від параметрів НВЧ-обробки

З наведених залежностей встановлено жорсткий практично прямий вплив НВЧ-енергії на розвиток грибної інфекції роду *Fusarium*. При максимальних і близьких до середніх значень питомої потужності та часу обробки від 66 с і вище настає 100 % знезараження зерна від грибів роду *Fusarium*. Допустимий вміст гриба *Fusarium* у хлібних продуктах допускається ГДК = 0,1 – 0,5 мг/кг.

Очевидно, при максимальних значеннях питомої потужності сукупний температурний вплив та вплив НВЧ-енергії призводить до активізації росту грибів *Fusarium* у зерні і збільшуватиме їх кількість у тісті та хлібі, що неприпустимо.

Це особливо наочно підтверджується залежністю зараженості від різних значень потужності при різних рівнях часу впливу НВЧ-енергії на зерно та відповідно на їхню обсімененість грибами роду *Fusarium* (рис. 4.7).

Виявлено одну суттєву особливість (рис 4.8) на режимах при питомій потужності близької до середнього значення та менших її значень, тобто досить м'які режими нагрівання навіть за тривалого часу дії від 66 до 80 с призводить до збільшення відсотка зараженості грибами роду *Fusarium*.

За мінімального значення часу впливу  $\tau=40$  с. при всіх значення питомої потужності в досліджуваному діапазоні йде пряма залежність збільшення зараженості зерна грибами роду *Fusarium*. Мінімальний час впливу НВЧ енергії на зерно, що активізують життєдіяльність міцелію грибів роду *Fusarium*, викликаючи їх бурхливе зростання, що явно не бажано при виробництві та зберіганні тіста та хліба.

#### 4.4 Результати досліджень впливу параметрів НВЧ-поля на загальну мікробну обсімененість зерна

Матеріали дослідження впливу НВЧ-енергії на загальну мікробну обсімененість зерна КУО/г наведені в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Результати досліджень впливу НВЧ знезараження на загальну мікробну обсімененість зерна м'якої пшениці після 8 годинного відволожування

№ варіанта	Режим впливу		Температура, °С	Показник КУО/1 г		
	Експозиція, с	Питома потужність, ( $P_{\text{пит}}$ Вт/дм <sup>3</sup> )		1	2	3
1	80	486	95	4	1	0
2	40	486	66	57	50	50
3	80	162	78	39	39	40
4	40	162	38	43	45	40
5	80	324	91	5	5	6
6	40	324	63	77	80	80
7	60	486	90	10	9	10
8	60	162	53	22	23	24
9	60	324	73	36	35	37
Контроль	0	0	16	130	137	139

В результаті отримано адекватне рівняння, що зв'язує один з основних параметрів  $y_5$  – загальної зараженості зерна шкідливими мікроорганізмами (*Bucillus subtilis*, *Penicillium*, *Fusarium*, *Mucor* та ін) з основними вхідними параметрами  $X_2$  – питома потужність і  $X_1$  – час обробки.

Рівняння виглядає так:

$$y_5 = 30,9 - 21,3x_1 - 6,9x_2 + 13,8x_1^2 - 12x_2^2 - 11,8x_1x_2$$

Контрольний зразок зерна пшениці мав рівень обсіменіння мікроорганізмами 130 – 139 КУО/1 г.

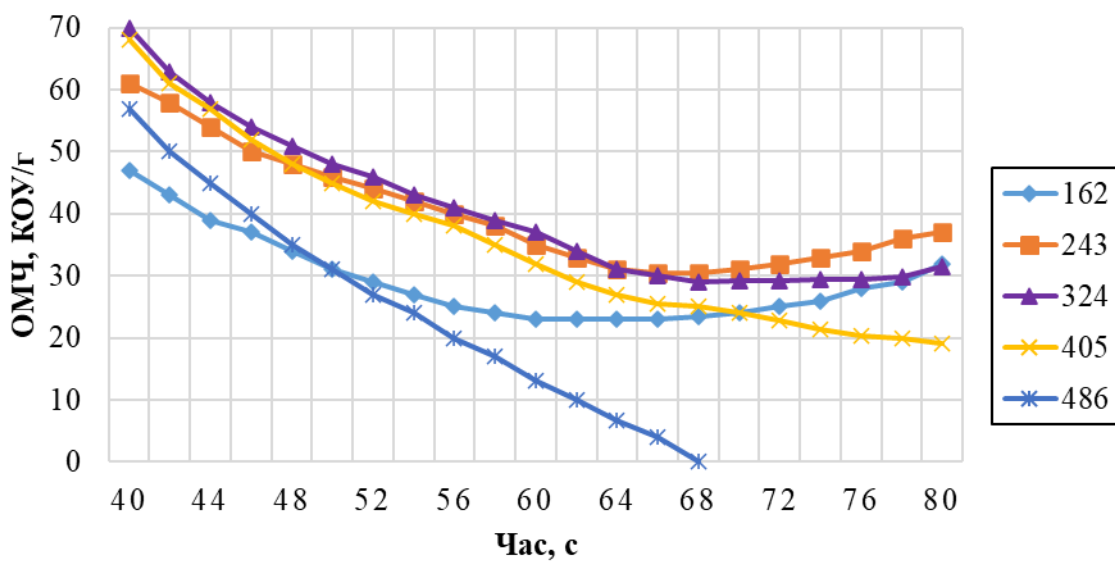


Рисунок 4.9 – Вплив НВЧ-нагріву зерна при різних рівнях питомої потужності  $P_{\text{пит}}$  на загальне мікробне число (ЗМЧ) КУО/г

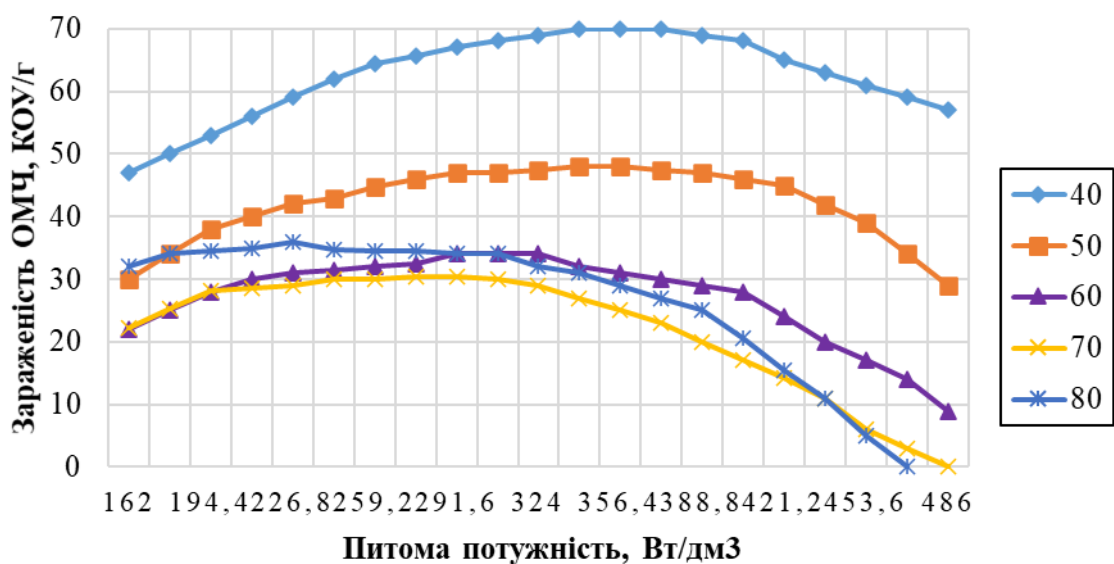


Рисунок 4.10 – Вплив НВЧ-нагріву зерна при різних рівнях експозиції  $\tau$  на загальне мікробне число (ЗМЧ) КУО/г

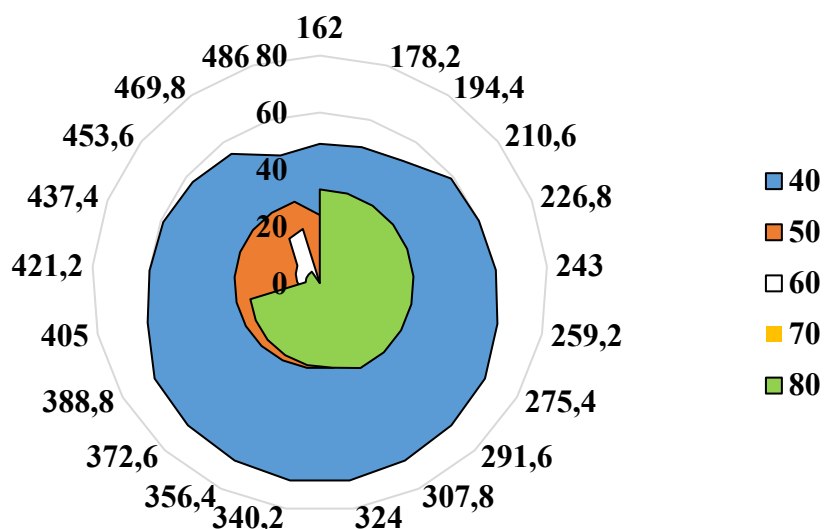


Рисунок 4.11 – Вплив параметрів загальної мікробної обробки зерна на загальне мікробне число (ЗМЧ), КОУ/Г.

В результаті табулювання вищенаведеного рівняння за програмою Excel, були побудовані графічні залежності одного з вихідних параметрів  $y_6$  – загального обсіменіння зерна від вхідних параметрів:  $P_{num}$  – питома потужність та  $\tau$  – часу обробки.

З наведених залежностей, як і інших випадках впливу НВЧ-енергії на шкідливу мікрофлору спостерігається жорсткий прямий вплив параметрів НВЧ-поля на загальне обсіменіння зерна. При максимальних значеннях питомої потужності та часу обробки від 70 с та вище спостерігається 100 % знезараження від бактеріальних інфекцій.

Як і в дослідженнях щодо впливу параметрів НВЧ-енергії на зараженість грибами роду *Penicillium* виявлено така сама особливість (рис. 4.9) впливу мінімальних значень питомої потужності, тобто, легкі режими НВЧ-нагрівання навіть при тривалому впливі від 70 с і вище призводять до збільшення відсотка загальної бактеріальної обсіменіння зерна.

При низьких значеннях параметрів електромагнітного поля та відповідно низької температури нагріву зерна та бактеріального середовища призводить до активізації бактеріальної інфекції та збільшує загальну обсімененість у зерні та відповідно збільшуватиме заспореність тіста та хліба.

Цей висновок добре підтверджується залежністю вмісту мікрофлори в зернопродуктах від різних значень потужності за різних рівнів часу впливу НВЧ-енергії (рис. 4.9).

При мінімальному значенні часу впливу  $\tau=40$  с при всіх значення питомої потужності у вищевказаному діапазоні йде пряма залежність збільшення загальної обсіменіння зерна, (рис. 4.10, 4.11).

Дані режими впливу НВЧ-енергії на зерна та їх загальну мікробну обсімененість активізує життєдіяльність останніх викликаючи їх зростання, що є неприйнятним для виробництва тіста та зберігання зернового хліба. Це говорить про те, що, як і при дослідженні впливу режимів НВЧ-поля на бактерії роду *Bacillus subtilis* та гриби роду *Penicillium*, *Fusarium* та інші, дані режими не можна рекомендувати при термообробці зерна у виробництві зернового хліба.

#### 4.5 Результати досліджень впливу параметрів НВЧ-поля на якісні та кількісні показники клейковини зерна

Результати дослідження впливу НВЧ-енергії на якість та кількість показники клейковини в зернопродуктах отримані під час проведення активного планування експерименту (таблиці 4.6).

В результаті, отримано адекватне рівняння, що зв'язує один з основних параметрів хлібопекарських властивостей продовольчого зерна – пружність клейковини з основними вхідними параметрами  $X_2$  – питома потужність і  $X_1$  – час обробки.

Дане рівняння одержано з наступними коефіцієнтами:

$$y_6 = 15,7 - 2,9x_1 - 6,0x_2 + 3,8x_1^2 - 6,2x_2^2 - 3,9x_1x_2$$

При  $P_{num}=486$  Вт/дм<sup>3</sup> спостерігається різке зниження якості клейковини, тому цей режим неможливий для обробки товарного зерна. Режим  $P_{num}=162$

Вт/дм<sup>3</sup> широкому інтервалі часу обробки в НВЧ поле зберігає якість клейковини на рівні контрольного зразка.

Таблиця 4.6 – Вплив параметрів НВЧ-поля, питомої потужності  $P_{пит}$  та експозиції нагрівання на клейковинний комплекс зерна пшениці

№ варіанта	Режим впливу		Температура, °С	Вага сирі клейковини, г	Розтяжність, см	Група якості клейковини
	Експозиція, с	Питома потужність, ( $P_{пит}$ ) Вт/дм <sup>3</sup>				
1	80	486	66	0,6	0	III
2	40	486	78	27,4	17,5	I
3	80	162	38	26,4	17	I
4	40	162	91	26,7	19	I-II
5	80	324	63	23,4	20	II
6	40	324	90	26,6	18	I
7	60	486	53	8,8	коротка, що рветься	III
8	60	162	73	27,8	18	I
9	60	324	16	25,7	16,5	I
Контроль	0	0	16	26,6	19,5	II

При експозиції понад 60 с покращуються пружні властивості клейковини, тобто. покращуються хлібопекарські якості зерна.

Температура 90 – 95 °С сприяє коагуляції білка, клейковина зерна повністю руйнується.

Ці режими є неприйнятними для виробництва хлібопродуктів і не можуть бути рекомендовані виробництву.

За температури 73 °С зміцнюється структура білка клейковини, змінюється показник пружності до 39 од. ІДК, клейковина пружна короткорвана .

При температурі 53 і 63 якість клейковини зберігається без зміни, пружні властивості на приладі ІДК на рівні 55 – 54 од., що лежить в межах допустимої норми.

Необхідно відзначити (табл. 4.6) в контрольному варіанті зерно мало задовільну за еластичністю клейковину, середню за розтяжністю. При поєднанні параметрів нагріву НВЧ-поля  $P_{num}$  експозиції  $\tau$  у наступних співвідношеннях: час нагрівання  $\tau = 45 - 80$  °С при  $P_{num} = 405 - 450$  Вт/дм<sup>3</sup> клейковина відмивається з гарною еластичністю та середньою розтяжністю. Це відбувається через деяку денатурацію білкового комплексу. Білки, що являють собою більш менш обводнені гелі при денатурації ущільнюються, збільшується механічна міцність і пружність. На перерахованих вище режимах зменшується гідратаційна здатність клейковини, вона зміцнюється (частково денатурує), що призводить до поліпшення її фізичних властивостей і до підвищення хлібопекарської гідності.

При питомій потужності 486 Вт/дм<sup>3</sup> та експозиції 60 с помітно погіршуються фізичні властивості: білкового клейковину зменшується в обсязі, стає нееластичною, короткорваною. Денатурований білок втрачає здатність до розчинності та набухання і при випіканні хліба, білок, що згорнувся, утворює міцний каркас, що погіршує якість. Погіршиться структура пористості та зменшиться обсяг хліба.

Характеризуючи розтяжність та еластичність клейковини, при режимах нагріву зерна в межах 60 °С сприяє підвищенню групи її якості, вона стає більш еластичною.

Результати дослідження впливу НВЧ-енергії на вміст клейковини в зерні приведено в таблиці 4.7.

На підставі результатів таблиці 4.6 отримано адекватне рівняння залежності параметрів, що має такий вигляд:

$$y_7 = 24,5 - 5,1x_1 - 7,4x_2 + 5,6x_1^2 - 6,2x_2^2 - 6,6x_1x_2$$

Спостерігається пряма залежність зниження відсотка вмісту клейковини у зерні залежно від часу впливу та питомої потужності  $P_{num}$  практично на всіх досліджених режимах.

При температурі від 66 до 78 °С кількість клейковини зменшується до 22 – 23 %, при цьому показник пружності змінюється до 55 – 55 %, дана температура сприяє частковому руйнуванню зерна клейковини, і її пружні властивості збільшуються.

Варіанти з поєднанням  $P_{num} = 162 – 486$  Вт/дм<sup>3</sup> та експозиції 40 – 60 с, крім зміцнення слабкої клейковини дають ефект збільшення її маси порівняно з контролем. Це можна пояснити втратою деякої кількості білків клейковин при відмиванні в контрольному варіанті, чого не відбувається у випадку, коли клейковина стає міцніше. При дії НВЧ-поля якість сильної клейковини знижується, слабкої – підвищується.  $P_{num} = 162$  Вт/дм<sup>3</sup>,  $\tau = 60 – 80$  с, а також  $P_{num} = 324$  Вт/дм<sup>3</sup>,  $\tau = 40 – 60$  с.

Можна відзначити режим, що сприяє поліпшенню технологічної гідності зерна пшениці і зміцнює слабку клейковину:  $P_{num} = 486$  Вт/дм<sup>3</sup>,  $\tau = 40$  с.

Під час обробки зерна пшениці НВЧ-полем найефективнішими, тобто досягають незаражувального ефекту при збереженні хлібопекарської якості зерна вважати режими:  $P_{num} = 162$  Вт/дм<sup>3</sup> і  $\tau$  від 60 с,  $P_{num} = 324$  Вт/дм<sup>3</sup> та  $\tau = 40$  с.

Паралельно перевірявся вплив НВЧ на вміст крохмалю в зерні. У досліджуваних партіях зерна частка крохмалю у зерні пшениці становила середньому 60 %. Вміст крохмалю, поруч із білками, визначає хлібопекарські якості зерна, тому, що це з'єднання має низку технологічних властивостей; набухання та клейстеризацією. При нагріванні від 55 до 80 °С крохмальні зерна поглинають велику кількість води, збільшуються в об'ємі, втрачають анізотропність. Вищевказані явища спостерігаються щодо впливу параметрів  $P_{num}$  НВЧ-поля на крохмаль зерна (таблиця 4.7.).

Таблиця 4.7 – Вплив НВЧ-поля на вуглеводний комплекс зерна помольних партій пшениці

№ варіанта	Режим впливу		Температура, °С	Вміст вуглеводів на 100 г, сухої речовини, г		
	Експозиція, с	Питома потужність, ( $P_{num}$ Вт/дм <sup>3</sup> )		крохмаль	цукроза	глюкоза
1	80	486	66	46,8	1,35	0,21
2	40	486	78	52,8	1,46	0,15
3	80	162	38	50,4	1,50	0,21
4	40	162	91	60,0	0,95	0,12
5	80	324	63	43,2	1,62	0,21
6	40	324	90	53,4	1,20	0,15
7	60	486	53	33,6	1,41	0,19
8	60	162	73	57,6	1,54	0,15
9	60	324	16	52,8	1,56	0,17
Контроль	0	0	16	60,0	0,97	0,11

Як очевидно з таблиці 4.7 при нагріванні зерна під впливом НВЧ-поля спостерігається зменшення вмісту крохмалю.

На підставі активного планування експерименту та результатів досліджень, отримано адекватне рівняння залежності вмісту крохмалю в зерні від параметрів НВЧ-поля та часу нагріву мають наступний вигляд; параметрів, що має такий вигляд:

$$y_8 = 2,1 - 0,6x_1 - x_2 + 0,6x_1^2$$

Причому при розігріванні зерна в межах 60 °С вміст крохмалю 12 % при  $P_{num}=324$ Вт/дм<sup>3</sup> і  $P_{num}=486$ Вт/дм<sup>3</sup> та експозиції 60 і 40 с знижується на незначну величину: 16 % – при  $P_{num}=162$ Вт/дм<sup>3</sup> та з експозиції 60 і 40 с, 11 % – при  $P_{num}=324$ Вт/дм<sup>3</sup> експозиції 40 с та 4 % – при  $P_{num}=162$ Вт/дм<sup>3</sup> та з експозиції 60 с.

Зменшення вмісту крохмалю у зерні можна пояснити частковим гідролізом вологого зерна. Збільшення питомої потужності та експозиції, зростання

температури розігріву зерна призводить до подальшого скорочення кількості крохмалю (на 22 – 44 % при  $P_{num} = 324 - 486$  Вт/дм<sup>3</sup> та експозиції 80 с), що може бути пов'язане з його декстринізацією та частковою клейстеризацією .

Це підтверджується одночасним зростанням відсоткового вмісту цукрів (див. табл. 4.7). Збільшення питомої потужності та експозиції, зростання температури розігріву зерна призводить до подальшого скорочення кількості крохмалю (на  $P_{num} = 324 - 486$  Вт/дм<sup>3</sup> та експозиції 60 – 80 с), що може бути пов'язане з його декстринізацією та частковою клейстеризацією.

Вмісту сахарози в залежності від впливу параметрів НВЧ-поля  $P_{num}$  та часу нагріву  $\tau$  наведено в табл. 4.7.

З результатів таблиці 4.7 отримано адекватне рівняння залежності вмісту сахарози від параметрів НВЧ-поля.

$$y_9 = 15,7 - 2,9x_1 - 6,0x_2 + 3,8x_1^2 - 6,2x_2^2 - 3,9x_1x_2$$

Відомо, що при нагріванні в слабокисломому або нейтральному середовищі розчин сахарози гідролізується, відбувається часткова інверсія з утворенням глюкози та фруктози.

Контрольний зразок містить 0,97 г на 100 г сухої речовини цукрози (табл. 4.7), при незначному термічному впливі; експозиції 40 с і  $P_{num}$  162 Вт/дм<sup>3</sup> кількість досліджуваної речовини залишається незмінною.

Питома потужність 162 – 324 Вт/дм<sup>3</sup> сприяють плавному та інтенсивному зростанню вмісту сахарози, що може бути пов'язане з поступовою активізацією біохімічних та хімічних процесів. Найбільше збільшення вмісту сахарози спостерігається у варіантах з  $P_{num}=162 - 486$  Вт/дм<sup>3</sup> та експозицією впливу НВЧ-поля 80 – 90 с. Причому при малій  $P_{num} = 162$  Вт/дм<sup>3</sup> але тривалій експозиції 80 с, ефект той же, як при великій  $P_{num} = 324$  Вт/дм<sup>3</sup> і експозиції 60 с. Таким чином, у процесі розпаду полісахаридів поряд із моносахаридами утворюється сахароза.

Підвищення вмісту сахарози під час обробки зерна НВЧ-полем має позитивне значення для хлібопечення.

Вміст глюкози в залежності від впливу параметрів НВЧ-поля  $P_{num}$  та часу нагріву  $\tau$  (табл. 4.7) представлено рівнянням регресії.

$$y_6 = 157,8 + 3,2x_1 + 10,7x_2 + 4,3x_1^2 - 4,7x_2^2 - 6,7x_1x_2$$

При збільшенні питомої потужності НВЧ-поля на зерно спостерігається стійке зростання відсоткового вмісту глюкози. Причому максимальних значень цей показник досягає при експозиції 80 с: у випадках з  $P_{пит} = 162 - 486 \text{ Вт/дм}^3$  вміст глюкози збільшується в 1,9 рази. Найменше зростання спостерігається у випадках з експозицією 40 с. Процес збільшення вмісту глюкози пов'язаний із гідролізом крохмалю та сахарози. Тому при тривалому впливі НВЧ-поля більша кількість крохмальних зерен піддається деструктивним процесам. При експозиції 60 с найбільше збільшення вмісту глюкози спостерігається при  $P_{num} = 486 \text{ Вт/дм}^3$ .

При зростанні кількості глюкози у зв'язку з частковим руйнуванням крохмалю та сахарози, а також підвищенням активності амілаз відбудеться зростання інтенсивності спиртового бродіння в період дозрівання тіста, отриманого з обробленої ЕМПНВЧ сировини.

#### Висновки до розділу

В результаті дослідження встановлено, що НВЧ-поле знижує ураженість зерна пшениці від бактеріальної та грибною інфекції. Знезаражуючий ефект спостерігається при  $P_{num} = 324 - 486 \text{ Вт/дм}^3$  та експозиції  $\tau = 60 - 80 \text{ с}$ .

В результаті дослідження встановлено, що НВЧ – обробка продовольчого зерна пшениці призводить до підвищення його хлібопекарських якостей за рахунок покращення фізичних властивостей клейковини. При ( $P_{num} = 162 \text{ Вт/дм}^3$ ,  $\tau = 60 - 80 \text{ с}$  і  $P_{num} = 324 \text{ Вт/дм}^3$ ,  $\tau = 40 - 60 \text{ с}$  і  $P_{num} = 486 \text{ Вт/дм}^3$   $\tau = 40 \text{ с}$ ) покращуються технологічні переваги зерна пшениці, зміцнюється слабка клейковина.

Під впливом факторів НВЧ-поля змінюється стан вуглеводно-амілазного комплексу. Зі зростанням режимних навантажень знижується вміст крохмалю в зерні пшениці, збільшується його гідролізування. Враховуючи необхідність збереження високого вмісту крохмалю в продовольчому зерні ефективними будуть вважатися режими з  $P_{num} = 162 - 324$  Вт/дм<sup>3</sup> і експозицією 40 – 60 с, при яких спостерігаються лише початкові етапи руйнування крохмалю.

При експозиції НВЧ-поля  $\tau = 80$  с і  $P_{num} = 162 - 486$  Вт/дм<sup>3</sup> відбувається збільшення вмісту глюкози в 1,9 рази, що позитивно позначається на його хлібопекарських якостях.

Встановлено, що в процесі розпаду полісахаридів, внаслідок дії на зерно НВЧ-поля, утворюється сахароза. Зростання за цим показником спостерігається при поєднанні  $P_{num} = 162 - 486$  Вт/дм<sup>3</sup> і  $\tau = 60 - 80$  с.

В результаті проведених теоретичних та експериментальних досліджень розроблено функціональну схему технологічного процесу з рекомендованими ефективними режимами знезараження та поліпшення якості хліба при  $P_{num} = 162 - 486$  Вт/дм<sup>3</sup> і  $\tau = 60 - 80$  с.

## 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

### 5.1 Розробка карти безпеки праці

Створення картки безпеки праці є важливим кроком у забезпеченні безпеки на робочому місці. Основним метою цієї картки є надання працівникам інформації про потенційні небезпеки та заходи безпеки, які необхідно дотримуватися під час виконання роботи на заводі [17].

На рисунку 5.1 зображено основні компоненти, які можуть бути включені до картки безпеки працівника борошномельного заводу.

<p><b>1. Загальна інформація</b></p> <p>Дана картка безпеки праці розроблена для робітників підготовчого відділення борошномельного підприємства.</p> <p><b>Важливо!</b> Обов'язково ознайомитись з інформацією цієї картки перед виконанням робіт.</p>	<p><b>2. Опис робочого місця</b></p> <p>Посада: апаратник зерноочисного відділення. Місце роботи: Цех очищення зерна від домішок, сепараторний поверх (6-й поверх, млинцех №2). Робочій час: 1 зміна (8:00-20:00) 2 зміна (20:00-8:00)</p>
<p><b>3. Заходи безпеки</b></p> <p>До роботи допускаються особи, що досягли 18-річного віку та пройшли відповідний інструктаж з ОП і медичний огляд.</p> <p>Заборонено приступати до роботи в стані алкогольного чи наркотичного сп'яніння. В разі поганого самопочуття негайно повідомити майстра цеху.</p> <p>Уважно готувати робоче місце, дотримуватись правил охорони праці. Обов'язково використовувати засоби індивідуального захисту при виконанні робіт з налагодженням роботи сепаратора</p>	
<p><b>4. Надзвичайні ситуації</b></p> <p>1) <b>Пожежа:</b> негайно повідомити про це відповідні служби та натиснути на пожежну сигналізацію. Використовувати вогнегасник або інші засоби пожежогасіння, якщо ви натрапили на невелике загоряння та можете безпечно його загасити.</p> <p>2) <b>Аварія:</b> негайно повідомити про це відповідні служби та керівництво. Уникайте зони аварії та слідуйте вказівкам служб безпеки.</p> <p>3) <b>Травма:</b> негайно повідомити про це відповідні служби та керівництво. Зверніться до медичного працівника або запросіть медичну допомогу, якщо потрібно.</p>	
<p><b>5. Потенційні ризики</b></p> <p>а) зерновий пил, б) можливість травмування внаслідок дії рухомих частин обладнання, в) ризик пожежі.</p>	<p><b>6. Контакти екстрених служб</b></p> <p>Черговий: вн.т. <i>42-78-15</i> Пожежна служба: <i>101</i> Екстрена медична допомога: <i>103</i> Служба екстреної допомоги: <i>112</i></p>

Рисунок 5.1 – Картка безпеки праці працівника цеху з виробництва борошна

Необхідно, щоб усі працівники були ознайомлені з карткою безпеки та строго дотримувалися всіх вказівок і правил, щоб забезпечити безпеку і запобігти можливим небезпекам на борошномельному заводі.

Фінансування заходів з охорони праці здійснюється за рахунок коштів підприємства. Ці кошти спрямовуються на оновлення засобів пожежогасіння, індивідуального захисту та спецодягу, а також на навчання працівників щодо безпечних умов праці. Щоб забезпечити нормальне функціонування служби, вона фінансується коштами у розмірі 0,5 % від фонду оплати праці.

## 5.2 Утилізація відходів виробництва борошно

Виробничий процес на борошномельних підприємствах значно впливає на навколишнє середовище. Цей вплив можна описати за допомогою наступних ключових аспектів: викид пилу та токсичних речовин у повітря, забруднення зернопродуктів, викидання стічних вод та генерація виробничого шуму.

Однією з основних проблем, які стоять перед системою заходів з охорони навколишнього середовища на підприємствах, які займаються виробництвом борошна, є забезпечення чистоти повітря. Це важлива задача, оскільки забруднення атмосфери є основною загрозою.

Під час очищення зерна від домішок і сухого очищення його поверхні, а також під час переміщення зерна, виникає значна кількість мінерального та органічного пилу. Процес подрібнення і сортування зерна та його проміжних продуктів також супроводжується утворенням пилу, який у деяких випадках містить цінну високобілкову фракцію борошна, втрата якої є неприпустимою. Для запобігання виносу пилу в атмосферу та забруднення навколишньої території підприємства, на заводі передбачена система аспірації, яка ефективно відсмоктує пил з усіх точок викиду. Повітря піддається надійному очищенню в циклонах та фільтрах різних конструкцій.

Транспортні маршрути мають бути оптимізовані для мінімізації точок перевантаження та довжини. Розміщення виробничого обладнання на

підприємстві спроектоване таким чином, щоб його було легко доступно для обслуговування та очищення від пилу. Навантаження на обладнання відповідає виробничим стандартам, технологічним нормам та правилам організації та проведення технологічного процесу. Обладнання підтримується в належному технічному стані протягом експлуатації, що забезпечує його безперебійну роботу до запланованого обслуговування.

«Під час виробництва борошна важливо зосередити увагу на ефективному управлінні відходами. Під час підготовки зерна до помелу проводиться його очищення від домішок, що призводить до утворення різних категорій відходів, включаючи цінні кормові та непридатні відходи. Один з можливих способів управління відходами – впровадження лінії гранулювання для подальшої переробки висівок. Відходи третьої категорії також вивозяться за межі підприємства».

Мета заходів з охорони навколишнього середовища для підприємств, що займаються виробництвом борошна, полягає у відновленні здорових та безпечних умов праці та життя для працівників. Ці заходи також розглядаються як важливий чинник підвищення продуктивності.

#### Висновки до розділу

Мета заходів з охорони навколишнього середовища для підприємств, що займаються виробництвом борошна, полягає у створенні здорових та безпечних умов праці і життя для працівників, що розглядається як важливий чинник підвищення продуктивності.

Встановлено, що заходи з охорони навколишнього середовища для підприємств, що спеціалізуються на виробництві борошна, повинні переважно бути спрямовані на створення умов праці та життя, що сприяють здоров'ю та безпеці працівників, і вони є ключовим чинником підвищення продуктивності.

## 6 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

## 6.1 Організація проведення дослідження

Планування досліджень включає такі етапи: створення списку завдань, визначення зв'язків та тривалості кожної роботи, розроблення сіткового графіка, ідентифікація критичного шляху та розрахунок бюджету для виконання дослідження.

У таблиці 6.1 наведено список завдань, які передбачаються в ході дослідження процесу обробки зерна в полі високочастотними електромагнітними хвилями (НВЧ).

Таблиця 6.1 – План проведення дослідження

Шифр робіт $i-j$	Найменування робіт	Тривалість робіт $t_{ij}$ , днів
1	2	3
1-2	Обґрунтування напрямку наукових досліджень	1
2-3	Літературний пошук	12
3-4	Написання літературного огляду	5
4-5	Складання плану виконання дослідних робіт	2
5-6	Розробка та викладення методик проведення досліджень	4
6-7	Підготовка дослідних зразків пшеничного борошна	3
7-8	Підготовка дослідного устаткування	15
8-9	Дослідження впливу параметрів поля НВЧ на температуру та вологість пшеничного борошна	2
8-10	Дослідження впливу параметрів поля НВЧ на білизну та якість клейковини пшеничного борошна	2
8-11	Дослідження впливу параметрів поля НВЧ на число падання та кислотність пшеничного борошна	6
8-12	Визначення впливу оптимальних параметрів обробки пшеничного борошна в полі НВЧ	8
9-13	Обробка результатів експериментальних дослідження	1
10-13		1
11-13		1
12-13		2
13-14	Підготовка матеріалу для доповіді	6

Згідно з розробленим планом дослідження, створюється сітковий графік, який є графічною моделлю, відображаючою майбутні етапи роботи або процесу у формі окремих елементів. Цей графік дозволяє за допомогою обчислень знайти оптимальний варіант виконання завдань. У фазі виконання сітковий графік забезпечує можливість оперативного контролю за прогресом виконання завдань. Деталі можна переглянути на рисунку 6.1.

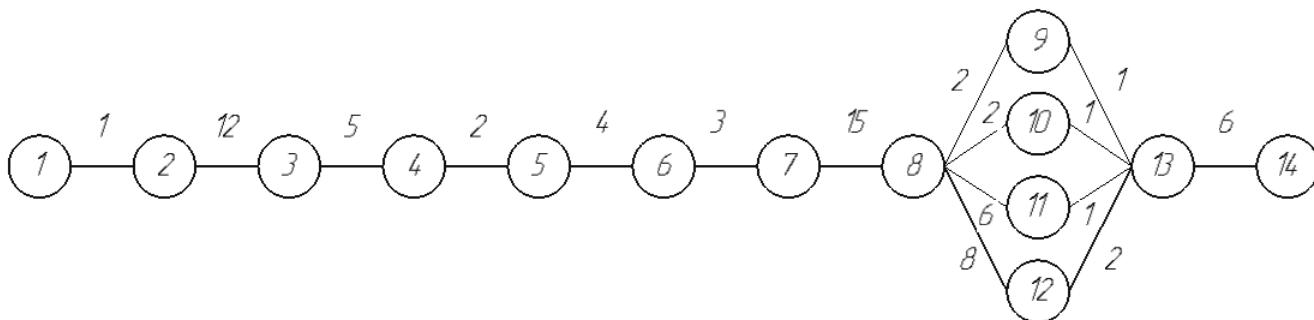


Рисунок 6.1 – Сітковий графік проведення НДР

За допомогою сіткового графіка визначаються всі можливі послідовні роботи від початкової до кінцевої події, знаходячи повний шлях або тривалість проходження цих робіт.

$$L_{1-2-3-4-5-6-7-8-9-13-14}^1 = 1 + 12 + 5 + 2 + 4 + 3 + 15 + 2 + 1 + 6 = 51;$$

$$L_{1-2-3-4-5-6-7-8-10-13-14}^2 = 1 + 12 + 5 + 2 + 4 + 3 + 15 + 2 + 1 + 6 = 51;$$

$$L_{1-2-3-4-5-6-7-8-11-13-14}^3 = 1 + 12 + 5 + 2 + 4 + 3 + 15 + 6 + 1 + 6 = 55;$$

$$L_{1-2-3-4-5-6-7-8-12-13-14}^4 = 1 + 12 + 5 + 2 + 4 + 3 + 15 + 8 + 2 + 6 = 58.$$

Критичним називається шлях, що характеризується максимальною тривалістю. У нашому випадку четвертий шлях є критичним, оскільки його тривалість становить 58 днів.

## 6.2 Витрати, пов'язані з проведенням дослідження

Вартість основних і допоміжних матеріалів розраховується відповідно до встановленої формули:

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

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

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

У таблиці 6.2 подані висновки щодо розрахунку витрат на матеріали.

Таблиця 6.2 – Необхідна кількість основних матеріалів та їх вартість

Найменування, одиниці	Кількість	Ціна, грн	Сума, грн
Зерно пшениці, кг	5	10,2	51,00
Всього			51,00

У таблиці 6.3 наведено результати розрахунку заробітної плати учасників дослідження.

Таблиця 6.3 – Розрахунок витрат на заробітну плату

Посада	Середньомісячний заробіток, грн	Середньочасовий заробіток, грн	Кількість людино-годин	Сума, грн
Керівник НДР	8000	47,62	15	714,30
Всього				714,30

Заробітна плата формується з таких складових:

$$H = \frac{714,30 \cdot 22}{100} = 157,15 \text{ грн.}$$

Витрати на електроенергію становлять:

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

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 функціонування установки поля високочастотного оброблення (НВЧ) становлять:

$$E_1 = 2,5 \cdot 0,9 \cdot 16 \cdot 1,68 = 57,60 \text{ грн.}$$

Витрати енергії на роботу персонального комп'ютера становлять:

$$E_2 = 1,3 \cdot 0,9 \cdot 240 \cdot 1,68 = 471,74 \text{ грн.}$$

Загальні витрати електроенергії складають.:

$$E = E_1 + E_2 = 57,60 + 471,74 = 529,34 \text{ грн.}$$

Розрахунок витрат на амортизацію проводимо відповідно до такої формули:

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

де  $A$  – амортизаційні відрахування, грн;

$\Phi$  – вартість устаткування, грн;

$H$  – річна норма амортизації, %;

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

365 – кількість днів у році.

У таблиці 6.4 приведено результати розрахунків витрат на амортизацію.

Таблиця 6.4 – Результати розрахунків витрат на амортизацію

Устаткування	Вартість, грн	Річна норма амортизації, %	Тривалість роботи, днів	Витрати на амортизацію, грн
Установка поля НВЧ	3850,00	15	2	3,16
Персональний комп'ютер	90000,40	24	30	177,54
Всього				180,70

Загальні витрати складаються з:

$$\frac{(714,30 \cdot 80)}{100} = 571,44 \text{ грн.}$$

У таблиці 6.5 представлено розрахунок витратного бюджету.

Таблиця 6.5 – Кошторис витрат на проведення дослідження

Витрати	Сума, грн.
Основні матеріали	51,00
Заробітна плата	714,30
Нарахування на заробітну плату	157,15
Електроенергія	529,34
Амортизація	180,70
Накладні витрати	571,44
Всього	2203,93

Дослідження показало, що найбільш значущими є витрати на заробітну плату та накладні витрати..

### 6.3 Розрахунок вартості дослідження

Вартість досліджень була встановлена з урахуванням витрат на проведення досліджень та рівня рентабельності:

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

де  $Ц$  – вартість дослідження, грн;

$C$  – витрати на дослідження, грн;

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

$$Ц = 2203,93 + \frac{30 \cdot 2203,93}{100} = 2865,11 \text{ грн.}$$

Витрати, що були здійснені на проведення досліджень, складають 2865,11 грн.

#### Висновки до розділу

Було встановлено, що основні витрати включають у себе виплати заробітної плати та накладні витрати, які становлять відповідно 714,30 грн і 571,44 грн. Загальна вартість проведеного дослідження складає 2865,11 грн, з урахуванням нормативної рентабельності на рівні 30 %.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Існуючі методи та технічні засоби підготовки зерна до розмелу, з попереднім його знезараженням від спор картопляної палички та пліснявих грибів, нині не задовольняють виробника та мають високі матеріальні та енергетичні витрати, суперечливі відомості про ефективність використання методів та отримання екологічно чистої та безпечної для людини хлібопродукції, крім використання НВЧ – технології.

Розроблені параметричні моделі дозволили теоретично обґрунтувати межі зміни параметрів НВЧ-поля питомої потужності  $P_{num}$  і часу нагрівання і зв'язати їх функціонально з вихідними параметрами: температурою нагріву, зараженістю та якісними показниками зерна.

На підставі розробленої методики визначення ефективних режимів, дисперсійного та регресійного аналізів отримані адекватні параметричні рівняння регресії, що зв'язують вхідні параметри НВЧ-поля питомої потужності  $P_{num}$  і часу нагрівання  $x$  з вихідними - вмістом мікрофлори і якісних показників зерна.

В результаті дослідження встановлено, що нагрівання зерна у НВЧ-полі знижує його зараженість від бактеріальної та грибнової інфекції нижче встановленого допустимого рівня. Максимальний знезаражуючий ефект спостерігається при питомій потужності  $P_{num} = 324 - 486$  Вт/дм<sup>3</sup> та експозиції нагріву  $\tau = 60 - 80$  с.

В результаті дослідження встановлено, що НВЧ-обробка продовольчого зерна пшениці призводить до підвищення його хлібопекарських якостей за рахунок покращення фізичних властивостей клейковини. При  $P_{num} = 162$  Вт/дм<sup>3</sup>,  $\tau = 60 - 80$  с, а також  $P_{num} = 324$  Вт/дм<sup>3</sup>,  $\tau = 40 - 60$  с і  $P_{num} = 486$  Вт/дм<sup>3</sup>,  $\tau = 40$  с знижується вміст крохмалю у зерні пшениці, збільшується його гідролізованість, що позитивно впливає на хлібопекарські якості продукції.

Встановлено, що в процесі розпаду полісахаридів, внаслідок дії на зерно НВЧ-поля утворюється сахароза. З цієї причини при нагріванні зерна у НВЧ-поле з експозицією  $\tau = 80$  с та питомої потужності  $P_{num} = 162 - 486$  Вт/дм<sup>3</sup> відбувається

збільшення вмісту глюкози в 1,9 рази, що позитивно позначається на хлібопекарські якості зерна та відповідно зернового хліба.

У результаті проведених теоретичних та експериментальних досліджень розроблено технологічний процес знезараження зерна НВЧ-полем з рекомендованими ефективними режимами, що покращують якість зернового хліба при  $P_{nut} = 162 - 486 \text{ Вт/дм}^3$  і  $\tau = 60 - 80 \text{ с}$ .

Встановлено, що заходи з охорони навколишнього середовища для підприємств, що спеціалізуються на виробництві борошна, повинні переважно бути спрямовані на створення умов праці та життя, що сприяють здоров'ю та безпеці працівників, і вони є ключовим чинником підвищення продуктивності.

Було встановлено, що основні витрати включають у себе виплати заробітної плати та накладні витрати, які становлять відповідно 714,30 грн і 571,44 грн. Загальна вартість проведеного дослідження складає 2865,11 грн, з урахуванням нормативної рентабельності на рівні 30 %.

## БІБЛІОГРАФІЯ

1. Мерко І.Т. Наукові основи і технологія переробки зерна: підручник для студентів вищих навчальних закладів / І.Т. Мерко, В.О. Моргун. Одеса: Друк, 2001. 348 с.
2. ДСТУ 46.004-99 «Борошно пшеничне Технічні умови». К: Держспоживстандарт України, 1999. 14 с.
3. Рослинництво. Навчальний посібник з дисципліни «Рослинництво» для студентів галузі знань 20 «Аграрні науки та продовольство» спеціальності 201 «Агрономія» першого бакалаврського рівня / Мазур В.А., Поліщук І.С., Телекало Н.В., Мордванюк М.О // Вінниця: Видавництво ТОВ «Друк». 2020. 352 с.
4. Подпратов Г.І., Рожко В.І., Скалецька Л.Ф. Технологія зберігання та переробки продукції рослинництва: підручник. К. : Аграрна освіта, 2014. 393 с.
5. Правила організації і ведення технологічного процесу на борошномельних заводах. К.: ВПОЛ, 1998. 148 с.
6. 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
7. Дудяк І. Д., Туз М. С. Технологія виробництва борошна, круп і комбікорму : методичні рекомендації щодо виконання лабораторних робіт для здобувачів вищої освіти ступеня «магістр» спеціальності 201 «Агрономія» денної форми навчання. Миколаїв, 2015. 139 с.
8. Механізація переробки та зберігання сільськогосподарської продукції: курс лекцій / Н.І. Хомик, В.П. Олексюк, О.П. Цьонь. Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2016. 288с.
9. Сайт фірми «Arrow Corp». Електронний ресурс. – URL: <https://www.arrowcorp.com/kipp-kelly-gravity-separators/>
10. Сайт фірми «Cimbria». Електронний ресурс. – URL: <https://www.cimbria.com/ru/products/processing/screen-cleaner.html>
11. Сайт фірми «PETKUS». Електронний ресурс. – URL: <http://www.petkus.com/products/-/info/sorting/cleaners/a-cleaner>

12. Сайт фірми «Satake». Електронний ресурс. – URL: <https://satake-group.com/news/new-release/140122.html>
13. Експертиза та контроль якості продуктів харчування: Навчально-методичний посібник з напрямку підготовки «Ветеринарна медицина» / П.М. Гаврилін, О.Г. Прокушенкова, В.Г. Єфімов [та ін.]. Дніпропетровськ: ДДАУ, 2012. 200 с.
14. ДСТУ 4161-2003. Системи управління безпечністю харчових продуктів. Вимоги.
15. Богомолів О.В. Управління якістю переробних і харчових виробництв / О.В. Богомолів, О.І. Шаповаленко, О.М. Сафонова, [та ін.]: Навч. посібник. Харків: «Еспада». 2006. 296с.
16. Маковецька Ю. Сучасне керування відходами відповідно до принципів циркулярної економіки. Посібник курсу ZWA deep level, 2021. 140 с. Режим доступу: <https://zerowastekharkiv.org.ua/wp-content/uploads/2021/12/posybnic-lekciye-book-5.pdf>.
17. Інноваційні методи обробки продовольчої сировини / С.Ю. Миколенко, О.В. Гончарова, А.М. Пугач, А.В. Купченко, В.С. Кошулько, Я.В. Гезь: Монографія. Дніпро: Журфонд, 2017. 224 с.
18. Тертишний О.О., Півоваров О.А., Кошулько В.С. Механічні процеси та обладнання харчових виробництв. Навчальний посібник. Дніпро: ДДАЕУ, 2022. 351 с.
19. Землеробська механіка. Інноваційні технології харчових виробництв / Кобець А.С., Сокол С.П., Пугач А.М., Чурсінов Ю.О., Півоваров О.А., Миколенко С.Ю., Ковальова О.С., Калина В.С., Кошулько В.С., Тимчак Д.О., Сова Н.А., Худайбердієва К.А. Колективна монографія. Дніпро: «Свідлер А.Л.», 2022. Том 4. 460 с.
20. Єремєєва О.А., Харченко Є.І., Любич В.В. Технологічні процеси переробки зерна пшениці в борошно: моногр. / Київ, 2021. 160 с.; іл.

21. Технологічні комплекси харчових виробництв : навчальний посібник / В.І. Теличкун, О.М. Гавва, Ю.С. Теличкун, О.О. Губеня, М.Г. Десик, О.М. Чепелюк. – Київ : Видавництво «Сталь», 2017. – 456 с.
22. Передумови формування якості зерна пшениць і продуктів його перероблення : моногр. / Г.М. Господаренко та ін.; Київ, 2019. 336 с.
23. Якість та облік зерна за приймання, оброблення і зберігання: навч. посіб. / Н. М. Осокіна та ін. – К.: ТОВ «ТРОПЕА», 2021. – 456 с.: іл
24. Aliiev Elchyn, Gavrilchenko Alexander, Tesliuk Hennadii, Tolstenko Alexander, Koshul'ko Vitaliy (2019). Improvement of the sunflower seed separation process efficiency on the vibrating surface. *acta periodica technologica (APTEFF)*, 50, 12–22. DOI:<https://doi.org/10.2298/APT1950012A> (Scopus).
25. Верещинский О.П. Наукові основи і практика підвищення ефективності сортових хлібопекарських помелів пшениці: дис. ... д-ра техн. наук / О.П. Верещинский. – Київ: НУХТ, 2014. – 388 с.
26. Nykyforov, A., Antoshchenkov, R., Halych, I., Kis, V., Polyansky, P., Koshulko, V., Tymchak, D., Dombrovska, A., Kilimnik, I. (2022). Construction of a regression model for assessing the efficiency of separation of lightweight seeds on vibratory machines involving measures to reduce the harmful influence of the aerodynamic factor. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (1 (116)), 24–34. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.253657> (Scopus).
27. Pivovarov O., Kovalova O., Koshulko, V., & Aleksandrova, A. (2022). Study of use of antiseptic ice of plasma-chemically activated aqueous solutions for the storage of food raw materials. *Food Science and Technology*, 15(4). <https://doi.org/10.15673/fst.v15i4.2260>. (Web of Science (Core Collection)).
28. Жемела Г.П., Бараболя О.В. Технологія борошномельного та круп'яного виробництва: навчальний посібник для студентів вищих агротехнологічних навчальних закладів. Полтава, 2011. 292 с.
29. Мерко І.Т. Технології мукомельного і круп'яного виробництва [Текст]: підручник для студентів вищих навчальних закладів. Вид. 2-ге, перероб. та допов. Одеса: Друк. дім, 2010. 472 с.

30. Мерко І.Т., Моргун В.О. Наукові основи і технологія переробки зерна: підручник для студентів вищих навчальних закладів. Одеса: Друк, 2001. 348с.
31. Правила організації і ведення технологічного процесу на борошномельних заводах. К.: Віпол, 1998. 145 с.
32. Правила організації і ведення технологічного процесу на круп'яних заводах. К.: Віпол, 1998. 164 с.
33. Шатенко Є. І., Соц С.М. Технологія круп'яного виробництва. К.: Освіта України, 2010. 272 с.
34. Чурсінов Ю.О., Хозяєв І.О., Черних С.А., Лакіза О.В. Інноваційні технології виробництва борошна, круп та харчоконцентратів: навчальний посібник. Дніпропетровськ: ДДАУ, 2011. 126 с.
35. Михайлов В. М. Використання мікрохвильової вакуумної обробки в процесах виробництва овочевих концентратів: монографія / за заг. ред. О. І. Черевко // Харків: ХДУХТ. 2014. 117 с.
36. Regier, M., Knoerzer, K., & Schubert, H. (2017). Introducing microwave-assisted processing of food. *The Microwave Processing of Foods*, 1–22. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100528-6.00001-2>
37. Використання мікрохвильової вакуумної обробки в процесах виробництва овочевих концентратів. Монографія / О.І. Черевко, В.М. Михайлов, В.О. Потапов та ін. Харків: ХДУХТ. 2014. 116 с.
38. Ekezie, Flora-Glad & Sun, Da-Wen & Han, Zhang & Cheng, Jun-Hu. (2017). Microwave-assisted food processing technologies for enhancing product quality and process efficiency: A review of recent developments. *Trends in Food Science & Technology*. 67. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.05.014>.
39. Кошулько В.С. Змішувач. Кобець А.С., Пугач А.М., Миколенко С.Ю., Гончарова О.В., Пальчиков В.О. Гезь Я.В. Патент на корисну модель № и 201704919, заявлено 22.05.2017; опубліковано 10.11.2017, Бюл. № 21.
40. Кошулько В.С. Диспергатор. Кобець А.С., Гончарова О.В., Пугач А.М., Миколенко С.Ю., Гезь Я.В. Патент на корисну модель № и 201803832, заявлено 10.04.2018; опубліковано 10.10.2018, Бюл. № 19.

41. Guzik, Paulina & Kulawik, Piotr & Zając, Marzena & Migdał, Władysław. (2021). Microwave applications in the food industry: an overview of recent developments. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 62. 1-20. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1922871>.

42. Ainhoa Vicente, Marina Villanueva, Pedro A. Caballero, José María Muñoz, Felicidad Ronda, Buckwheat grains treated with microwave radiation: Impact on the techno-functional, thermal, structural, and rheological properties of flour, *Food Hydrocolloids*, Volume 137, 2023, 108328, <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.108328>.

43. Chang, Yoon & Steel, Caroline & Clerici, Maria. (2011). The Use of Microwave Radiation Energy to Process Cereal, Root and Tuber-based Products. <https://doi.org/10.5772/14177>.

44. Hu, Q., He, Y., Wang, F. et al. Microwave technology: a novel approach to the transformation of natural metabolites. *Chin Med* 16, 87 (2021). <https://doi.org/10.1186/s13020-021-00500-8>.

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

46. 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.

47. Тертишний О.О., Півоваров О.А., Кошулько В.С. Теплові процеси та обладнання в харчових виробництвах. Навчальний посібник, 2023. 360 с. (Рекомендовано до видання вченою радою ДДАЕУ, протокол №\_\_ від 29.06.2023 р.) (5 др. арк.)