

**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 «Бакалавр»
на тему:

**Обґрунтування технології обробки пшеничного
борошна інфрачервоним опроміненням**

Виконала: здобувачка вищої освіти 5 курсу,
групи ХТз-1-18
освітньо-професійної програми «Харчові технології»
зі спеціальності 181 «Харчові технології»

_____ Ірина ГОЛОТА

Керівник: _____ Дмитро ТИМЧАК

Рецензент: _____ Віктор МАРЧЕНКО

Дніпро 2023

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра харчових технологій

Ступінь вищої освіти: «Бакалавр»

Освітньо-професійна програма: «Харчові технології»

Спеціальність: 181 «Харчові технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

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

(підпис)

«30» травня 2023 р.

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

Голоті Ірині Вікторівні

1. Тема роботи: «Обґрунтування технології обробки пшеничного борошна інфрачервоним опроміненням».

Керівник роботи: Тимчак Дмитро Олександрович, викладач, затверджені наказом закладу вищої освіти від «30» травня 2023 року № 1033.

2. Строк подання здобувачем вищої освіти роботи 19 червня 2023 року

3. Вихідні дані до роботи: 1. Технологія виробництва борошна традиційним методом. 2. Наукова, нормативна, технологічна, технічна та патентна документація.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити). Вступ. 1 Аналітичний огляд літературних джерел. 2 Матеріали і методи досліджень. 3 Експериментальна частина. 4 Охорона праці та безпека життєдіяльності в надзвичайних ситуаціях. 5 Організаційно-економічна частина. Загальні висновки. Список використаних джерел.

5. Перелік демонстраційного матеріалу

1 Постановка проблеми. 2 Мета і завдання досліджень. 3 Характеристика сировини та методів досліджень. 4 Обговорення результатів досліджень. 5 Охорона праці та довкілля. 6 Кошторис витрат на проведення досліджень. 7 Загальні висновки.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1-4, 6	викладач Дмитро ТИМЧАК	30.05.23	19.06.23
5	доцент Олексій ДЕРКАЧ	30.05.23	19.06.23

7. Дата видачі завдання 30 травня 2023 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	30.05-31.05.23	виконано
2	Аналітичний огляд літературних джерел	01.06-03.06.23	виконано
3	Матеріали і методи досліджень	04.06-05.06.23	виконано
4	Експериментальна частина	06.06-09.06.23	виконано
5	Охорона праці та безпека життєдіяльності в надзвичайних ситуаціях	10.06-11.06.23	виконано
6	Організаційно-економічна частина	12.06-13.06.23	виконано
7	Формулювання висновків по роботі та списку використаних джерел	14.06-15.06.23	виконано
8	Підготовка демонстраційного матеріалу	16.06-18.06.23	виконано

Здобувачка вищої освіти _____ Ірина ГОЛОТА
(підпис)

Керівник роботи _____ Дмитро ТИМЧАК
(підпис)

РЕФЕРАТ

Тема: «Обґрунтування технології обробки пшеничного борошна інфрачервоним опроміненням»

Кваліфікаційна робота бакалавра: 60 с., 9 рис., 8 табл., 36 літературних джерел.

Об'єкт дослідження: борошно пшеничне хлібопекарське 1-го сорту до та після обробки ІЧ-випромінюванням.

Метою роботи є обґрунтування технології обробки пшеничного борошна інфрачервоним опроміненням.

Методи дослідження: Вологість зразків борошна та м'якуші хліба визначалася за Міждержавним стандартом 9404-88.

Масова частка та якість сирої клейковини за приладом ІДК визначалися за Міждержавним стандартом 27839-88. Якість клейковини визначалося на приладі ІДК-ЗМ. Число падіння визначалося згідно з Міждержавним стандартом 27676-88 на приладі марки ПЧП-3.

На даний момент вітчизняні хлібопекарні виробництва мають важливе завдання, що стосується підвищення якості пшеничного борошна.

Відомо, що прогрів слабкого або свіжозмеленого борошна покращує її хлібопекарські властивості внаслідок зміцнення клейковини під дією теплового поля. Одним з фізичних способів створення теплового поля є інфрачервоне (ІЧ) випромінювання, яке має значні переваги в порівнянні з традиційними методами нагріву. Крім того, ІЧ-випромінювання має здатність знижувати мікробіологічну контамінацію в оброблюваній сировині і, як наслідок, в одержуваних продуктах.

Актуальність роботи полягає в визначенні доцільності застосування обробки хлібопекарської пшеничного борошна ІЧ-випромінюванням при його підготовці до виробництва хліба. Така обробка може надати можливість виробництва хліба необхідної якості з збільшенням термінів його зберігання за рахунок попередньої обробки борошна ІЧ-випромінюванням.

КЛЮЧОВІ СЛОВА

Борошно пшеничне; інфрачервоне випромінювання; ІЧ-обробка; показники якості; клейковина; мікробіологічна контамінація; знезараження.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ	7
1.1 Загальні відомості про пшеничне борошно	7
1.2 Загальна характеристика мікроорганізмів пшеничного борошна	11
1.3 Шляхи зниження мікробіологічної контамінації пшеничного борошна	14
1.4 Використання ІЧ-випромінювання для покращення якості зерна і борошна	22
2 МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ	30
2.1 Характеристика об'єктів дослідження та лабораторної установки	30
2.2 Визначення методик дослідження	32
3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА	34
3.1 Аналіз якості свіжозмеленого пшеничного борошна	34
3.2 Визначення режиму ІЧ-обробки пшеничного борошна	37
3.3 Визначення стійкості показників якості пшеничного борошна при його зберіганні після ІЧ-обробки	39
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	46
4.1 Дослідження стану охорони праці під час роботи з установками генераторами інфрачервоного випромінювання	46
5 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	50
5.1 Витрати, пов'язані з проведенням дослідження	50
5.2 Розрахунок ціни дослідження	54
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	55
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	57

ВСТУП

На даний момент вітчизняні хлібопекарні виробництва мають важливе завдання, що стосується підвищення якості пшеничного борошна. Це викликано тим, що більшість борошна виробляється зі зниженими хлібопекарськими властивостями (переважно зі слабкою клейковиною) і підвищеною контамінацією мікроорганізмами. Хліб, випечений з такого борошна, має низькі споживчі властивості і частіше схильний до пліснявіння і захворюваності на картопляну хворобу.

Зниженими хлібопекарськими властивостями також володіє свіже змелене борошно, яке необхідно витримати до двох місяців для того, щоб використовувати його для випікання хліба необхідної якості.

Перспективним напрямом у підвищенні якості хлібопекарського борошна пшеничного є фізичні способи її обробки. Дослідження фізичних способів обробки хлібопекарської сировини викладено в роботах Л.Я. Ауермана, А.С. Гінзбург, Е.А. Ісакової, Т.Б. Циганової, П.П. Тарутіна, Н.В. Цвугленка, Г.І. Цвугленко, Г.Г. Юсупової, А.А. Артікова, М. Дерібере та інших авторів.

Відомо, що прогрів слабого або свіжозмеленого борошна покращує її хлібопекарські властивості внаслідок зміцнення клейковини під дією теплового поля. Одним з фізичних способів створення теплового поля є інфрачервоне (ІЧ) випромінювання, яке має значні переваги в порівнянні з традиційними методами нагріву. Крім того, ІЧ-випромінювання має здатність знижувати мікробіологічну контамінацію в оброблюваній сировині і, як наслідок, в одержуваних продуктах. На сьогоднішній день ІЧ-випромінювання знайшло широке застосування в харчовій промисловості, у тому числі при виробництві продуктів переробки зерна.

Попередній аналіз літературних джерел показав, що досліджень комплексного впливу ІЧ-випромінювання на хлібопекарські властивості та мікробіологічну контамінацію пшеничного борошна проводилося мало.

Виходячи з вищевикладеного, актуальним є дослідження впливу ІЧ-випромінювання хлібопекарської пшеничного борошна на його якість, що дозволить здійснювати ІЧ-обробку слабкого або свіжозмеленого борошна для його підготовки до виробництва хліба необхідної якості.

Робота виконана відповідно до наукової тематики кафедри харчових технологій ДДАЕУ.

Метою цього дослідження стала обґрунтування способу обробки хлібопекарського пшеничного борошна ІЧ-випромінюванням і комплексна оцінка його впливу на споживчі властивості хліба.

Відповідно до поставленої мети сформульовані такі завдання дослідження:

1. Обґрунтувати параметри обробки хлібопекарського пшеничного борошна ІЧ-випромінюванням.
2. Вивчити вплив параметрів інфрачервоної обробки на якість борошна.
3. Визначити стійкість досягнутих значень показників якості при зберіганні обробленого борошна.

Актуальність роботи полягає в визначенні доцільності застосування обробки хлібопекарської пшеничного борошна ІЧ-випромінюванням при його підготовці до виробництва хліба. Така обробка може надати можливість виробництва хліба необхідної якості з збільшенням термінів його зберігання за рахунок попередньої обробки борошна ІЧ-випромінюванням.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1.1 Загальні відомості про пшеничне борошно

Пшеничне борошно є багатокомпонентним комплексом з білків, ліпідів, вуглеводів і мінеральних речовин, що перебувають у складній взаємодії між собою.

Відповідно до ГСТУ 46.004-99, борошно пшеничне ділиться на хлібопекарське та загального призначення.

Борошно хлібопекарське виробляють з м'якої пшениці (або з сумішшю твердої пшениці не більше 20%) шести сортів: екстра, крупчатка, вищий, I, II сорт, оббивне.

«Пшеничне борошно загального призначення залежно від білизни або масової частки золи, масової частки сирої клейковини, а також крупності помелу поділяють на типи: М 45-23; М 55-23; МК 55-23; М 75-23; МК 75 –23; М 100-25; М 125-20; М 145-23. Літера «М» означає борошно з м'якої пшениці, літери «МК» - борошно з м'якої пшениці великого помелу» [1].

У виробництві широко використовується хлібопекарська пшеничне борошно 1-го сорту. «Його хімічний склад наступний: білки – 10,6%, жири – 1,3%, крохмаль – 67,1%, моно- та дисахариди – 0,5%, харчові волокна – 5,8%, зола – 0,7%» [2]. Цей сорт борошна використовується для проведення досліджень у цій роботі.

Пшеничне борошно хорошої якості дозволяє при правильному веденні технологічного процесу отримувати хліб з високими споживчими властивостями, що відповідає вимогам до якості за вимогами чинної нормативної документації [3].

Показники якості борошна, регламентовані ГСТУ 46.004-99, поділяють на дві групи: органолептичні (смак, запах та ін.) та фізико-хімічні.

Відповідно до сучасних уявлень, якість борошна визначається її хлібопекарськими властивостями [3-9].

Одними з найбільш значущих хлібопекарських властивостей пшеничного борошна можна назвати силу борошна та газоутворювальну здатність. Через них - визначаються відповідно стан її білково-протеїназного та вуглеводно-амілазного комплексів.

Сила борошна є здатністю борошна утворювати тісто, що має певні реологічні властивості. За силою борошно поділяють на: слабе, середнє, сильне.

«Найбільшою мірою силу борошна визначає стан її протеїназно-білкового комплексу. При цьому з білків борошна найбільше значення мають білки клейковини гліадин і глютенін. Вони становлять приблизно від 2/3 до 3/4 всієї білкової речовини клейковини» [4].

Відомо, що свіжозмелене борошно, як правило, має ознаки слабого борошна. Зміцнення білково-протеїназного комплексу борошна і, як наслідок, підвищення її сили відбувається в процесі її природного дозрівання при зберіганні після помелу в результаті окислювально відновлювальних процесів. При цьому поглиблені дослідження структурних властивостей клейковини показали, що вирішальним фактором при цьому є дисульфідні зв'язки ($-S=S-$), що утворюються з сульфгідрильних груп ($-SH$) [52]. Окислення $-SH$ -груп у білках борошна з утворенням поперечних $-S = S$ -зв'язків призводить до ущільнення і впорядкування структури білка і зменшення його чутливості до протеолізу.

На зміцнення клейковини також впливають ліпіди, що містяться в борошні. Вченими [5] встановлено, що при зберіганні борошна в її ліпідному комплексі відбуваються гідролітичні та окислювальні процеси, за яких ліпіди взаємодіють з білками борошна. Важливу роль грає гідроліз ліпідів, що протікає під впливом окисних процесів, а також під впливом ферментів – ліпази та ліпоксигенази мікроорганізмів. Внаслідок цих перетворень утворюються жирні кислоти. «Ненасичені жирні кислоти за участю ферменту ліпоксигенази окислюються, перетворюючись на пероксиди і гідропероксиди – сполуки, що мають велику окисну активність. У свою чергу, вони прискорюють утворення дисульфідних груп у білково-протеїназному комплексі, що призводить до укріплення - клейковини» [5].

«Встановлено, що для пшеничного борошна термін дозрівання за відповідних умов становить від 7-10 діб до 1,5-2 місяців залежно від її вихідної якості. Відомо, що швидкість процесу дозрівання багато в чому визначається таким фактором, як температура. Чим вище температура в приміщенні, де зберігається борошно, тим швидше вона дозріває» [6].

Схематично окислювально-відновлювальні процеси, що відбуваються в білково-протеїназному комплексі борошна, представлені на рис.1.1.

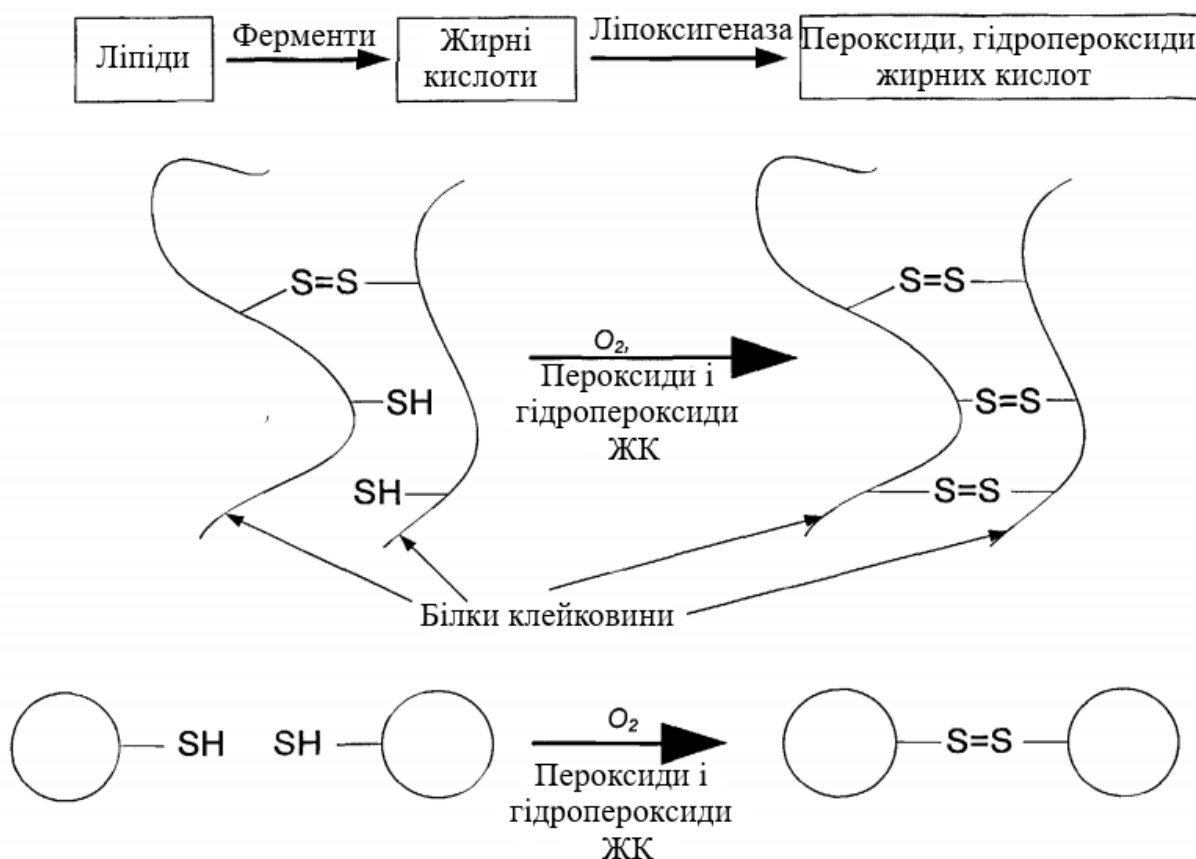


Рисунок 1.1 – Схема окислювально-відновних процесів у білково-протеїназному комплексі борошна

На силу борошна також впливає вміст крохмалю. «Чим більше в борошні крохмалю, тим вона слабкіша через менший вміст у ній білкових речовин. Однак чим дрібніше зерна крохмалю, тим густішим за консистенцією буде тісто з цього борошна» [6].

Газоутворююча здатність борошна показує стан її вуглеводно-амілазного комплексу. «Вона залежить від вмісту в муці вуглеводів і від цукроутворювальної здатності борошна. Від газоутворюючої здатності борошна залежать об'єм хліба, еластичність, пористість м'якушу» [2, 9].

«Встановлено, що при зберіганні пшеничного борошна зміни у вугіллі - водно-амілазному комплексі практично не відбуваються або відбуваються незначно» [8].

Для характеристики стану вуглеводно-амілазного комплексу стандартизованим є показник числа падіння. Дослідженнями [7] встановлено тісний зв'язок величини числа падіння з газоутворюючою здатністю борошна і визначено «величини числа падіння в діапазоні від 280-300 с до 351-370 с, при якій борошно, згідно з результатами досліджень автора, має задовільну газоутворювальну здатність (1300-1800 см³). Хороша газоутворювальна здатність борошна (1800-2300 см³), згідно з даними автора, характерна для борошна з числом падіння від 180 до 280-300 с» [7].

Таким чином, цілеспрямовано змінюючи стан білково-протеїназного та вуглеводно-амілазного комплексів борошна, можна регулювати його хлібопекарські властивості. Це можна зробити хімічними, біологічними або фізичними способами. Доцільність застосування того чи іншого способу залежить від вихідної якості борошна та метою спрямування зміни її хлібопекарських властивостей.

На сьогодні в Україні «через різні фактори (низька якість насінневого матеріалу, ґрунтово-кліматичні умови, недотримання агротехнологій та ін.) виробляється велика кількість пшеничного борошна зі слабкою клейковиною і високим числом падіння» [3, 9]. Тому зміцнення слабкої клейковини борошна, зокрема, за рахунок прискорення дозрівання свіжозмеленого борошна, і збільшення газоутворюючої здатності борошна до необхідних значень є актуальним завданням у підвищенні якості борошна і хліба.

1.2 Загальна характеристика мікроорганізмів пшеничного борошна

На якість борошна, крім її фізико-хімічних показників, значний вплив мають мікроорганізми (мікрофлора), що містяться в ньому.

Мікрофлору борошна в основному складають мікроорганізми, що переходять у нього із зерна при помелі, тому якісний склад мікрофлори борошна дуже близький до мікрофлори зерна. Кількість мікроорганізмів, що переходять у борошно із зерна, коливається в дуже широких межах і визначається не тільки обсіменіння зерна мікроорганізмами, але також і способами його очищення і розмелювання. «Такі коливання залежать не тільки від ступеня забрудненості та способів очищення та помелу зерна, а й від тривалості та умов зберігання борошна» [10]. Так як питома поверхня частинок борошна більша, ніж у зерні, то борошно являє для мікроорганізмів більш поживне середовище, ніж зерно.

За даними вчених, «на зерні налічується від $2,0 \times 10^4$ до $2,5 \times 10^6$ мікроорганізмів на 1 г зерна» [11-13]. Поширеними мікроорганізмами, що містяться в зерні і борошні, що виробляється з нього, є цвілеві гриби і бактерії групи картопляної палички. Вони можуть спричинити зниження якості борошна за сприятливих умов для їх розвитку.

«За даними ФАО, близько 30% світового збору зернових та зернобобових - культур забруднено пліснявими грибами» [12]. Їхній видовий склад у зернової маси досить різноманітний.

На збереження та якість зерна та продуктів його переробки впливають головним чином гриби пологів *Aspergillus*, *Penicillium* та *Altemaria*. У меншою мірою на зерно впливають представники мукових, *Monilia Cladosporium* та ін. Дослідження британських учених виявили, «що зараження зерна пліснявою при зберіганні виникає, якщо зерно погано просушене та його вологість становить 15% і більше» [6].

«Інтенсивний розвиток цвілевих грибів у зерні завжди супроводжується - втратами у вазі сухої речовини зерна, зниженням якості або повним псуванням зерна та виділенням мікотоксинів та інших метаболітів» [14].

Зараженість пліснявими грибами робить зерно і продукти його переробки - фактично непридатними для харчових і кормових цілей, значно знижуючи їх якість.

Незважаючи на те, що плісняві гриби, що містяться в борошні, повністю гинуть при випіканні хліба, їхня присутність у борошні свідчить про погіршення якості зерна і, як наслідок, борошна, що отримується з нього.

«Для практики роботи хлібопекарських виробництв суттєвий інтерес - представляють спороутворюючі бактерії групи картопляної та сінної палички (відповідно *Bacillus mesentericus* та *Bacillus subtilis*), які є збудниками картопляної хвороби хліба. Ці бактерії поширені у природі. Вони мають вигляд паличок довжиною 1,5-3,5 мкм і товщиною, що дорівнює 0,8 і 0,7 мкм» [9, 12]. У поодиноких екземплярах ці бактерії завжди виявляються на свіжоприбраному зерні. «Їх чисельність зростає в партіях сильно запиленого або зерна, що зазнавало самозігрівання» [13]. Також однією з причин «появи картопляної - хвороби є порушення санітарного та технічного режиму зберігання та переробки зерна, борошна, приготування хліба та його зберігання» [9].

Для розмноження та активної життєдіяльності бактерій, що викликають картопляну хворобу, необхідні наступні параметри навколишнього середовища: температура 35-50 °С, висока вологість, низька кислотність (рН = 5-10). Тому захворювання хліба на картопляну хворобу найчастіше відбувається у спеку року або в регіонах з теплим вологим кліматом. Картопляна хвороба хліба виявляється у тому, що м'якуш хліба робиться тягучим (при розломі навіть черствого хліба він тягнеться слизовими, дуже тонкими павутиноподібними нитками) і набуває різкого, дуже специфічного неприємного запаху і смаку. «Ці специфічні зміни пояснюються дією комплексів амілолітичних (у тому числі α -амілолітичних) та протеолітичних ферментів, що виділяються бактеріями» [9, 12].

Спори, що утворюються цими бактеріями, дуже стійкі за підвищення температури середовища. Встановлено, що «вони гинуть при 100 °С через 6 год, при 113 °С – через 45 хв, при 125 °С – через 10 хв, а при 130 °С – миттєво. Тому ці суперечки добре переносять прогрів при випіканні, зберігаючи свою

життєздатність. За наявності в 1 г борошна до $2,0 \times 10^2$ КУО/г спор борошно вважають нормальним, від $2,0 \times 10^2$ КУО/г до $1,0 \times 10^3$ КУО/г - сумнівним, $1,0 \times 10^3$ КУО/г і більше – забрудненим» [9, 11].

Встановлено, що «в процесі випікання хліба з сильно забрудненого борошна (вміст бактерій групи картопляної палички - від $1,1 \times 10^4$ до $8,3 \times 10^4$ КУО/г) кількість бактерій знижується незначно і вже через 24 год зберігання такого хліба їх кількість зростає і досягає $2,0 \times 10^4$ КУО/г, а через 36 год - $8,0 \times 10^5$ КУО/г» [13].

На швидкість захворювання хліба впливає не тільки кількість спор бактерій, що містяться в борошні, а й якість самого борошна. Так, «борошно з пониженими хлібопекарськими властивостями зумовлює отримання хліба з більшою ймовірністю захворювання в порівнянні з хлібом, отриманим з борошна з нормальними хлібопекарськими властивостями» [9].

Встановлено пряму залежність між пліснявінням хліба та вмістом у борошні спор картопляної палички. На думку автора, це ймовірно пов'язано з тим, що екзоферменти картопляної палички, руйнуючи мікроструктуру м'якшу, збільшують кількість вільної води, яка мігрує з м'якуша до кірки. Підвищення вологості субстрату сприяє розвитку цвілевих грибів на кірці хліба і в м'якші і в місцях, що примикають до тріщин або підривів на кірці. «Найбільш інтенсивно процес цвіління хліба відбувається при його обсіменіння спорами бактерій від $1,0 \times 10^2$ до $1,0 \times 10^3$ КУО/г» [10].

Раніше в світі картопляна хвороба хліба відзначалася в регіонах з теплим і вологим кліматом, проте в даний час вона зустрічається фактично повсюдно. Так, «проведеними перевірками встановлено, що практично все борошно, що знаходиться в роздрібній торгівлі і на всіх млинкомбінатах заражене картопляною паличкою в концентрації, що викликає захворювання хліба» [9]. Встановлено також, що «вміст спор у хлібі та хлібобулочних виробах у середньому може становити від $1,0 \times 10^3$ до $1,7 \times 10^3$ КУО/г, що перевищує допустимі норми у 5-8 разів» [11].

Зараження картопляною хворобою не тільки робить хліб непридатним до вживання (у таких випадках він підлягає знищенню), а й веде до великих збитків

на хлібопекарських підприємствах також і зважаючи на тривалий простій виробництва під час здійснення заходів, пов'язаних з обробкою цехів і обладнання цілях знищення бактерій, що викликають хворобу.

Таким чином, при контамінації борошна бактеріями групи картопляної палички в концентрації, що викликає картопляну хворобу хліба, необхідно знизити їх вміст. При цьому застосований спосіб не повинен викликати зниження якості хліба, що випікається з неї.

1.3 Шляхи зниження мікробіологічної контамінації пшеничного борошна

Хімічні та біологічні способи можуть використовуватися для зниження мікробіологічної контамінації як борошна, так і зерна, з якого вона виробляється.

Аналіз джерел показав, що цілеспрямованих досліджень щодо зниження даними способами вмісту цвілевих грибів у пшеничному борошні з метою запобігання пліснявінню хліба, що випікається з неї, не проводилося. Це може пояснюватися тим, що цвілеві гриби, що містяться в борошні, при випіканні хліба гинуть. «Пліснявінню хліба викликається потраплянням плісняви та їх спор на поверхню вже випеченого хліба» [2, 3]. Таким чином, терміни та інтенсивність цвіління хліба залежать переважно від його органолептичних та фізико-хімічних показників якості, мікробіологічної обсіменіння та умов зберігання після випічки.

«Для запобігання картопляній хворобі використовується комплекс заходів, що включають хімічні та біологічні способи придушення її розвитку» [15]. Вони можуть використовуватися при санітарній обробці приміщень і обладнання на хлібопекарських підприємствах або як компоненти при виробництві хліба.

Для випадків переробки сильно зараженої спорами *Bacillus subtilis* борошна в результаті досліджень, проведених у Київському технологічному інституті харчової промисловості, запропоновано застосовувати оцтовокислий кальцій та оцтову кислоту спільно в мінімальних дозах (0,2% та 0,1% відповідно) [16]. Однак на практиці «в хлібопекарських підприємствах малої потужності фактично застосовується оцтова кислота в кількості 0,1-0,2%» [17].

У «США для запобігання захворюванню хліба картопляною хворобою - рекомендувалося додавати не більше 0,32% пропіонату натрію або 0,4% діацетату натрію або 0,75% монофосфату кальцію» [15].

Вищеперелічені речовини запобігають картопляній хворобі тільки в дозуваннях, що негативно позначаються на показниках якості хліба (зниження пористості та органолептичних показників). Пропіонат кальцію та діацетат натрію пригнічують діють на дріжджі та подовжують технологічний процес бродіння тіста.

Таким чином, хімічні способи негативно позначаються на якості готового хлібу.

Більш безпечними та поширеними при запобіганні картопляній хворобі є біологічні способи, засновані або на підвищенні кислотності, що затримує розвиток картопляної хвороби, або на застосуванні біологічних препаратів, що викликають загибель бактерій групи картопляної палички.

Раніше були розроблені 5 способів біологічної боротьби з картопляною хворобою: застосування Джамбульської схеми приготування рідких заквасок, використання пропіонових бактерій, мезофільних заквасок, амілолітичних молочнокислих бактерій і приготування рідких дріжджів з використанням мезофільної закваски. «Найбільш ефективними способами були визнані застосування рідких дріжджів, приготованих з використанням Джамбульських рас рідких дріжджів або молочнокислої закваски мезофільних бактерій *L. Fermenti*, штами 27 та 34» [9, 15].

З біологічних препаратів нині ефективним для боротьби з картопляною хворобою є поліпептидний консервант нізін, що виробляється бактеріями *Streptococcus lactis*. На його основі у 1990-х роках розроблено препарат «Селектин», при використанні якого хліб не хворіє на картопляну хворобу протягом 72 і більше годин після випічки [16]. Його використання регламентовано «Інструкцією з попередження картопляної хвороби хліба».

В цілому можна сказати, що біологічні способи знайшли досить широке застосування при боротьбі з картопляною хворобою хліба. Однак у разі застосування цих способів з використанням спеціального обладнання

збільшуються витрати на його придбання та обслуговування. Це практично непридатне для хлібопекарських підприємств та цехів малої потужності із періодичним циклом роботи.

Вплив поля негативного коронного розряду (ПНКР) на зерно може покращувати його якість та знижувати обсіменіння мікроорганізмами. Так, результати досліджень, показали, «що при обробці зерна ПНКР при напруженості електричного поля $4,0 \times 10^5$ В/м, експозиції 70 с та часу відлеження 8 діб пригнічується зростання та розвиток цвілевих грибів. Крім того, зазначалося поліпшення структурно-механічних властивостей тіста, приготованого з обробленого зерна» [18].

«Також є дані, що передпосівна обробка зерна пшениці ПНКР покращує його схожість на 92-128%» [19].

Пригнічення мікроорганізмів, що знаходяться на поверхні зерна в спороподібному стані, повинно відбуватися у зв'язку з тим, що силові лінії - електричного поля концентруються в області міжелектродного простору, на яке накладено поле, заповнене або електропровідним матеріалом (живі бактерії, гриби, комахи, дрібні тварини), або матеріалом з більшою діелектричною проникністю, ніж решта простору [18]. Таким чином, застосування ПНКР недоцільно у разі обробки борошна, так як його вплив поширюватиметься тільки на поверхню матеріалу, що обробляється.

Вплив електромагнітного поля надвисокої частоти (ЕМП НВЧ), званого також мікрохвильовим полем, на властивості та мікробіологічну обсіменіння зерна та продуктів його переробки широко досліджувалося вітчизняними та зарубіжними вченими.

Метод обробки рослинного матеріалу в ЕМП НВЧ поєднує вплив двох полів - електромагнітного та теплового. Основний напрямок використання ЕМП НВЧ при обробці рослинної сировини, у тому числі зерна пшениці, полягає у зниженні мікробіологічної контамінації оброблюваного матеріалу.

Явища, що спостерігаються при впливі НВЧ-енергії на живі тканини, мають переважно тепловий характер. Енергія ЕМП НВЧ перетворюється на тепло в

самому продукті, що забезпечує здійснення нагріву одночасно по всьому об'єму з високою швидкістю і відіграє головну роль у загибелі клітин. Так, «дослідження показали, що насіння рослин знезаражується за 20-60 с, саме насіння нагрівається при цьому на одиниці градусів. Встановлено, що НВЧ-нагрів комбікорму до 120-130 ° С знижує його загальну обсіменіння мікроорганізмами фактично до нуля» [20].

Ефективність впливу енергії ЕМП НВЧ залежить від дисперсії, діелектричної проникності та провідності оброблюваного продукту. Дослідженнями встановлено, що «загибель мікроорганізмів відбувається - внаслідок денатурації білка за порівняно невисоких темпів нагріву 0,5-0,8 °С/с, питомої потужності 0,09-0,3 кВт/кг, а зі збільшенням темпу нагріву до 1,2—1,6 °С/с з допомогою діелектричного руйнування клітин живої тканини. Найкращий ефект НВЧ-знезараження від спороутворюючих бактерій відзначений при обробці зерна з вологістю 15-16% при експозиції 60-90 с, швидкості нагрівання 0,6-0,8 ° С/с та температурі нагріву 60-80 °С» [20].

Вченими досліджено особливості інактивації мікроорганізмів у вегетативній та споровій формах та бактеріофагів мікрохвилями з частотою 2375 МГц у різних середовищах. «Величина питомої поглиненої потужності варіювала від 17 до 700 Вт/см² експозиція впливу мікрохвиль - від 0,4 до 17,5 с» [20].

Дослідження впливу ЕМП НВЧ на знезараження рослинної сировини (зерна та комбікормів) показали, що майже повне знезараження оброблюваного матеріалу від цвілевих грибів (94-96 %) досягається при експозиції НВЧ-поля 3-4 хв. В результаті також встановлено, що НВЧ-опромінення рослинної сировини має досить більшу енергоємність, тому рекомендується якомога більш короткочасна обробка сировини НВЧ-полем, а також її використання при інтенсифікації конвективного сушіння в атмосферних умовах [2].

Проводилося вивчення впливу НВЧ-нагріву на мікрофлору зерна пшениці. У процесі дослідження зразки зерна піддавалися обробці НВЧ-печі «Електроніка» протягом 0,5-2,5 хв з інтервалом у 0,5 хвилин. Визначення мікрофлори проводили на 1, 10, 20, 30, 60 та 90 добу зберігання зерна при температурі 18-20 °С в умовах,

що виключають накопичення вуглекислого газу. Було встановлено, що «обробка зерна в ЕМП НВЧ протягом 1,5-2 хв знижувала кількість мікроорганізмів у 2,5 рази порівняно з контрольним зразком. Бактерицидний ефект ЕМП НВЧ зберігався протягом 3-х місяців. Також зазначено, що ЕМП НВЧ суттєво гальмує ріст цвілевих грибів і покращує хлібопекарські властивості зерна пшениці» [3].

Вплив ЕМП НВЧ на зерно та продукти його переробки також змінює їх показники якості і, як наслідок, їх хлібопекарські властивості .

У роботі польських авторів гліадини та пшеничне борошно піддавали впливу мікрохвиль потужністю 70, 200 і 500 Вт протягом часу, що забезпечує рівень накладеної енергії меншим або рівним 150 кДж. «Відзначено зміни атакованості ферментами досліджених зразків. Максимальні зміни відзначені при дозі опромінення 30-40 кДж. Крім того, вміст у борошні гліадинових фракцій знижується при збільшенні дози опромінення» [20].

НВЧ-випромінювання може також бути використане для сушіння хлібопродуктів. У Близькосхідному технічному університеті (м. Анкара, Туреччина) вивчали виготовлення хлібної крихти за допомогою мікрохвильового сушіння м'якуша хліба за підтримки ІЧ-випромінювання. «Тісто для виробництва крихт висушували від 40,9% вологості приблизно до 8% вологості звичайним - методом, за допомогою мікрохвиль, ІЧ випромінювання та ІЧ випромінювання за підтримки мікрохвиль, або різними поєднаннями методів. Була використана галогенна лампа, потужність ЕМП НВЧ складала 30, 50 і 70%. Час сушіння скоротилося при обробці ІЧ-випромінюванням на 80,2-94,0%, при мікрохвильовій обробці-на 96,5-98,6%» [20]. «Порівняно з традиційним способом сушіння змін у кольорі крихт знайдено не було. Всі способи також виявилися ефективними для підвищення вологозв'язуючої здатності оброблюваного матеріалу» [20].

НВЧ-нагрів відноситься до перспективних і широко вивчених способів - обробки сировини та харчових продуктів, у тому числі зерна та продуктів його переробки. Однак самі дослідники в даній галузі зазначають, що «впровадження НВЧ-технологій у виробництво здійснюється вкрай повільно з причин відсутності зв'язку між харчовими виробництвами та виробниками НВЧ-обладнання, а також

недостатній обсяг лабораторних експериментів та передчасний перехід до заводських випробувань» [20]. НВЧ-випромінювання є досить енергоємним, що збільшує вартість готових продуктів. Крім того, НВЧ-обладнання вимагає дотримання підвищених заходів безпеки при експлуатації, що веде до ускладнення конструкції апаратів та підвищення їх металомісткості.

Ультрафіолетове (УФ) випромінювання з довжинами хвиль від 200 до 300 нм має виражену біоцидну дію і справляє ефективну інактивацію бактерій, спор, вірусів, грибів та інших мікроорганізмів [21]. Тому в харчовій промисловості воно використовується для знезараження продуктів, обладнання, приміщень.

Вплив УФ-опромінення на мікробіологічну контамінацію зерна пшениці досліджувався японськими вченими. Досліди показали, що «90% мікроорганізмів, що знаходяться на поверхні зерна, гине за інтенсивності опромінення в УФ-діапазоні $5,3 \text{ Вт/м}^2$. Погіршення схожості насіння не спостерігалось. Опромінення проходило в часовому проміжку від 26 до 55 год» [22]. Скоротити «цей проміжок до 4,8 год можна за рахунок використання як фотокаталізатора діоксиду титану (TiO₂) та збільшення інтенсивності випромінювання» [21]. Така тривалість процесу пояснюється тим, що дія УФ-опромінення, як і ПНКР, поширюється лише на поверхню матеріалу, що обробляється.

«У хлібопекарському виробництві УФ-опромінення знайшло застосування при санітарній обробці поверхонь та обладнання, обсіменених бактеріями *Bacillus subtilis*» [21].

Аналіз джерел показав, що досліджень щодо впливу УФ-випромінювання на показники якості зерна та борошна не проводилося. Це можна пояснити тим, що непрозорість твердих середовищ «для УФ-випромінювання при обробці сипких продуктів вимагає ефективного перемішування частинок, щоб поверхня кожної частинки була доступною для УФ-опромінення. Цього можна досягти, наприклад, за допомогою сучасних вібраційних чи ротаційних апаратів» [22]. І тут конструкція апаратів також ускладнюється, що збільшує витрати виробництва.

Таким чином, даний спосіб у чистому вигляді не застосовується для зниження мікробіологічної обсіменіння борошна.

Гідротермічна обробка зерна при його підготовці до помелу також може сприяти поліпшенню хлібопекарських властивостей борошна та підвищенню якості хліба [23].

Результати досліджень Одеського інституту харчової промисловості, «проведені на Одеському борошномельному заводі №2, показали, що при гарячому кондиціонуванні зерна при знижених теплових режимах підвищується вихід борошна сухих сортів на 1,58%» [23].

Проведені дослідження гідротермічної обробки зерна в режимі швидкісного кондиціонування «за допомогою насиченої водяної пари (пропарювання 20-30 с та термостатування протягом 19-21 хв при температурі 44-46 °С) показали, що при такій обробці відбувається більш ретельний поділ оболонок та ендосперму, а також знезараження зерна від мікробів, плісняв, грибів» [23]. Запропонований метод обробки зерна дозволяє максимально убезпечити продукти, отримані з пшениці.

Гідротермічна обробка парою може бути застосовна безпосередньо на борошні. Так, японськими вченими розроблено та запатентовано спосіб пропарювання пшеничного борошна. «Борошно з розмірами частинок 270 мкм надходить у високошвидкісний змішувач зі швидкістю 200 кг/год. Туди ж надходить пара (12 кг/год), що має температуру 110 °С. Змішувач надає лінійну швидкість перемішування 5,5 м/с, обробка триває 20 с, борошно досягає температури 80 °С. Після парообробки борошно подрібнюється до 95 мкм» [23]. «Оброблене борошно набуває наступних властивостей: життєздатність глютену дещо знижується (з 47,7% до 44,2%), коефіцієнт набухання збільшується (з 1,8 до 1,9), забезпечується великий обсяг, гарна форма, колір продукту, а також текстура, м'якість та смак. Під терміном «життєздатність глютену» автори мають на увазі відношення сирого розчинного білка до загального білка» [23].

Розглянуті вище способи гідротермічної обробки зерна та борошна вимагають застосування спеціалізованого дорогого обладнання з підвищеними вимогами до безпеки під час експлуатації. Зокрема, гідротермічна обробка зерна

вимагає розвиненої системи паропостачання підприємства та недоцільна для застосування на хлібопекарських виробництвах малої потужності.

Аерацію застосовують в основному на борошномельних підприємствах для пневмотранспортування борошна і для боротьби з його злежуванням, зависанням у силосах і бункерах.

Зміцнення клейковини пшеничного борошна при її пневмотранспортуванні викликається в першу чергу тим, «що кожна частина борошна оточена повітрям, кисень якого необхідний для окислювально відновлювальних процесів, що лежать в основі підвищення сили борошна» [24].

Дослідженнями встановлено, «що при аерації борошна зі слабкою клейковиною при зберіганні її хлібопекарські властивості дещо покращуються, проте для цього потрібен безперервний та тривалий режим аерації, що на борошномельних підприємствах є недоцільним» [24].

В останні роки «все ширше впроваджується безтарне зберігання та транспортування борошна, зазвичай пов'язане із застосуванням пневматичного внутрішньовиробничого переміщення борошна» [24].

В Одеському біотехнологічному інституті розроблено технологію - нагрівання борошна в системі заводського пневмотранспорту з подальшим - безтарним зберіганням. «При використанні даної технології прогріте борошно 1-го сорту зі слабкою клейковиною досягало оптимальних хлібопекарних - властивостей за 4 доби» [24].

Зміцнення клейковини при її пневмотранспортуванні, включаючи її нагрівання гарячим повітрям, застосовується для великих млинових і хлібопекарських комбінатів і вимагає розвиненої системи пневмопереміщення борошна.

На млині №1 Миколаївського комбінату хлібопродуктів було розроблено і введено спеціальний помел зерна, що «полягає у застосуванні розвиненого процесу гідротермічної обробки зерна в поєднанні з сушінням борошна. Вивчення процесу сушіння борошна показало, що борошно можна нагрівати до 60-100 °С, а оптимальна температура для обробки борошна зі слабкою клейковиною становить

70-80 °С» [24]. При цьому фактор нагріву є поліпшуючим для якості клейковини і позитивно позначається на якості хліба. На думку автора, «застосування цього способу доцільно при виробленні борошна для експорту або тривалого зберігання» [24].

Є дослідження, присвячене вивченню умов прогрівання не стандартної муки та її хлібопекарських властивостей. Встановлено, «що прогрівання слабкої муки протягом 15 хв при 80 °С статистично точно надає позитивний вплив на обсяг хліба. Теплова обробка знижує активність а-амілази в борошні і позитивно впливає на реологічні властивості приготованого з неї тесту» [24].

1.4 Використання ІЧ-випромінювання для покращення якості зерна і борошна

Інфрачервоне (ІЧ) випромінювання, як і інші види електромагнітних коливань, характеризується частотою, довжиною хвилі і швидкістю розповсюдження і, які пов'язані між собою. «ІЧ-діапазон довжин хвиль знаходиться в межах 0,76-400 мкм» [25-29].

Крім того, «цей діапазон умовно ділиться на випромінювання видимого спектру з довжинами хвиль до 4,4 мкм та невидимого з довжинами хвиль вище 4,4 мкм. Слід нагадати про те, що під випромінюванням розуміють процеси генерування та перенесення енергії електромагнітними хвилями» [25]. Енергія випромінювання, зрештою, за її поглинання перетворюється на теплоту, оскільки у опромінюваному матеріалі зростає інтенсивність теплового руху атомів і молекул. Вона особливо зростає, якщо частота випромінювання близька або збігається з частотою власних коливань атомів опромінюваного матеріалу, при цьому збільшується і коефіцієнт поглинання енергії, тобто виявляється селективність властивостей матеріалів, що опромінюються.

Основним штучним джерелом ІЧ-випромінювання (природним є сонячне випромінювання), що «застосовується для ІЧ-обробки є ІЧ-генератор. При

застосуванні джерел ефект нагрівання випромінюванням зумовлюється переважно ІЧ-частиною цього випромінювання» [26].

«Для таких колоїдних капілярно-пористих продуктів, як тісто, хліб, борошно або зерно, глибина проникнення в них ІЧ-променів може бути від десятих часток до кількох (<7) міліметрів» [25-27].

Таким чином, ІЧ-випромінювання завдяки своїм властивостям широко застосовується в різних галузях виробництва, у тому числі у виробництві харчових продуктів.

На підставі «результатів досліджень ІЧ-випромінювання стало широко використовуватися при тепловій обробці харчової сировини та продуктів, у тому числі: сушіння, обсмажування, бланшування, випічки» [26].

У харчовій промисловості ІЧ-випромінювання головним чином використовується для сушіння рослинної сировини. Було встановлено, «що швидкість сушіння рослинної сировини з використанням ІЧ-променів на 25-95 % вище, ніж при конвективному сушінні» [27].

Використання ІЧ-променів різних довжин хвиль для теплового «впливу на яблука, виноград, кедрові горіхи та відходи кедрових шишок, хвойну зелень, лікарську сировину, чайний лист, женьшень, пряно-смакові трави, зерна рису, корми, продукти тваринного походження роботах» [28, 29]. Отримані продукти відрізнялися вищою якістю по відношенню до продуктів, при тепловій обробці яких не застосовувалося ІЧ-випромінювання.

Встановлено, що «ІЧ-обробка бобових (соя, квасоля) дозволяє усунути - антиживильні фактори, що містяться в них» [26].

Застосування «ІЧ-випромінювання є доцільним також при інтенсифікації кондуктивного сушіння картопляного пюре. При цьому технологія виробництва - виключає введення в пюре небажаних хімічних добавок, що призводить до підвищення його якості» [27].

У кулінарній обробці харчових продуктів використання ІЧ-випромінювання також дає значний ефект. Після обсмажування із застосуванням ІЧ-випромінювання істотно покращуються органолептичні показники для продуктів

(зовнішній вигляд, смак, запах, колір) у порівнянні з традиційним способом . «Більшою мірою зберігаються вітаміни, а мікроелементи зберігаються повністю. У 2-3 рази в порівнянні з електричною шафою для смаження скорочується час приготування. Питомі енерговитрати скорочуються приблизно втричі» [28].

Властивість ІЧ-випромінювання «знижувати контамінацію мікроорганізмами» [2], знищувати комах [28], у харчовій промисловості використовується також для стерилізації та дезінсекції сировини, продуктів та обладнання.

Стерилізація продуктів «при ІЧ-обробці може пояснюватися зміною у мікроорганізмів кінетики біохімічних реакцій під впливом зовнішнього ЕМП з довжинами хвиль ІЧ-діапазону та термічного впливу (тепловий шок)» [29]. Стінні структури мікроорганізмів мають діаметр пір приблизно 25-60 нм, вони проходять через всю товщину стінки і подібні до іонообмінних мембран. Через мембрану стінки клітини відбуваються перенесення електронів по дихальному ланцюгу та обмінні процеси речовинами, розчиненими у воді цитоплазми. Оскільки зовнішнє ЕМП має частоту коливань, близьку до частоти своїх коливань молекул води, всі вони, отримавши додаткову енергію, підвищують амплітуду коливань, що зумовлює порушення кінетики біохімічних процесів, тобто загибелі клітин мікроорганізмів

Тепловий шлях загибелі мікроорганізмів може пояснюватися тим, «що поглинається на резонансній частоті енергії зовнішнього електромагнітного поля достатньо для перегріву клітини мікроорганізму через її малі розміри в порівнянні з розмірами частинок продукту (в даному випадку - борошна). Навколишнє середовище, тобто продукт, при цьому нагрівається значно менше» [10].

Тепловий шлях загибелі мікроорганізмів може відбуватися так само через зміну інтенсивності дихання при тепловому шоці, що призводить до збільшення «активних форм кисню (O_2 , H_2 , O_2 , OH), які є токсичними для клітин мікроорганізмів, зокрема для клітин дріжджів , і ведуть до руйнування мембран, білків, ДНК і, зрештою, до загибелі клітини» [29].

Дослідження щодо впливу ІЧ-випромінювання на життєздатність *Bacillus subtilis* та цвілевих грибів *Aspergillus niger* проводилися на сільськогосподарському факультеті університету острова Кюсю. «Вони поки зали, що протягом 10 хв при потужності випромінювання 0,1-1 кВт гинули 90% суперечка *Bacillus subtilis*, а суперечки грибів *Aspergillus niger* – за 40 с» [25].

Широке застосування «ІЧ-випромінювання отримало при пастеризації рідких харчових продуктів (фруктових соків, безалкогольних напоїв, молока)» [26]. Його перевага полягає у відсутності контакту на грітій стінці з пастеризованим продуктом, що виключає надмірну пастеризацію частини продукту. Завдяки більш рівномірному нагріванню якість продукту після ІЧ пастеризації вище. Японськими дослідниками «зазначено, що з пастеризації доцільно використовувати ІЧ- випромінювання довгохвильового спектра» [27].

Загалом можна сказати, що ІЧ-випромінювання знайшло досить широке застосування у виробництві харчових продуктів через свої властивості, що позитивно впливають на якість продукції, що виготовляється.

Переваги ІЧ-випромінювання знайшли застосування для обробки зерна та продуктів його переробки у різних цілях.

У роботах вчених зазначено, що обробка насіння пшениці коротко - хвильовим ІЧ-випромінюванням «надає на них стимулюючу дію, яка - проявляється у підвищенні енергії проростання, схожості, силі початкового росту, виживання рослин і врожайності. Аналогічний вплив ІЧ-випромінювання надає і насіння овочевих культур» [28].

В останні роки знаходить все більшого поширення процес мікронізації зернових культур з їхньою попередньою обробкою ІЧ-випромінюванням великої потужності [27]. Зазначається, що вміст декстринів у продукті після такої обробки зростає у 6-8 разів.

За допомогою інфрачервоного випромінювання можна інтенсифікувати процес сушіння зерна пшениці. Дослідження показали, «що нагрівання зерна ІЧ-променями до температури 60 ° С не знижує споживчих властивостей зерна, а при короткочасному нагріванні (2-3 хв) допускається підвищення температури до 65-

70 °С. Підвищення температури нагріву зерна вище 70 °С як при тривалому, так і при короткочасному впливі спричиняє зниження як вмісту сирової клейковини, так і її якості» [29].

Розроблено спосіб обробки ядер цілого пшеничного зерна ІЧ-випромінюванням. «Цілі ядра зерен витримують при підвищеній температурі протягом певного інтервалу часу безпосередньо після завершення ІЧ-обробки. Внаслідок чого досягається значна активація ферментів ліпази та ліпоксигенази при регулюванні клейстеризації» [28].

Розроблено низькотемпературну технологію отримання етилового спирту із зерна пшениці, підданого ІЧ-обробці при оптимальному режимі. Технологія значно спрощує процес шляхом поєднання стадії «одержання розвареної маси і сусла, скорочує витрату цукрівних ферментних препаратів та енерговитрати на стадії одержання та переробки помелу. Зазначено, що інфрачервона обробка також ефективно знижує забрудненість зерна шкідливою мікрофлорою» [28].

ІЧ-випромінювання може бути використане для дезінсекції зерна. Знищення «комах-шкідників при короткочасному (3-60 с) прогріванні зерна ІЧ-променями засноване на тому, що більшість комах тим більше, ніж зерно, і швидше поглинає променисту енергію; вони мають неоднаковий хімічний склад і, отже, різні спектри поглинання променистої енергії» [26, 29].

Дослідження, проведені на сільськогосподарському факультеті університету острова Кюсю показали, що «короткочасна обробка зерна пшениці ІЧ-випромінюванням (протягом 37-63 с) потужністю 2 кВт у змінному режимі знижує частку мікроорганізмів, що вижили, до 0,2, не надаючи негативного на схожість зерна» [28].

У хлібопекарській промисловості найбільшим напрямом використання ІЧ-випромінювання є випічка хлібобулочних виробів. Дослідженнями встановлено, «що основна перевага випічки ІЧ-випромінюванням - скорочення часу процесу - пояснюється тим, що прикордонний шар не чинить термічного опору ІЧ-променям» [30]. При випіканні хліба ІЧ-променями значно «підвищується інтенсивність прогріву тестової заготовки, що випікається, що інтенсифікує

тривалість випічки (при короткохвильовому ІЧ-випромінюванні) на 25-30% в порівнянні зі звичайною радіаційно-конвективною випічкою і підвищує якість хліба» [27].

При використанні ІЧ-випромінювання для виробництва «панірувального борошна, здобних сухарів і сухого квасу відзначається інтенсифікація процесу виробництва цих продуктів» [29]. Використання ІЧ-випромінювання як «джерела нагріву в процесі випікання національних борошняних та хлібобулочних виробів також дозволяє підвищити якість готових виробів» [2, 3, 25].

ІЧ-випромінювання можна застосовувати «під час виробництва зернового хліба для попередньої обробки зерна пшениці» [28].

Дослідження вказують, що 1 см є оптимальною товщиною шару борошна, при якій енерговитрати мінімальні. «У дуже тонкому шарі частина енергії ІЧ-променів не використовується, при більшій товщині промені проникають лише в частину шару, не забезпечуючи потрібного прогріву і подовжуючи час сушіння. Чим тонше помел борошна, тим важче сушіння, оскільки борошно тоншого помелу повільніше віддає вологу» [28].

Проводилися дослідження щодо прогріву свіжозмеленого пшеничного борошна 72-відсоткового виходу ІЧ-променями для прискорення її природного дозрівання. «Результати показали, що безперервне прогрівання борошна ІЧ-променями протягом 6-8 хв може не тільки замінити, а й перекрити процес її природного дозрівання» [26]. Паралельно підвищенню сили борошна, підвищується газоутворювальна здатність борошна, що свідчить про поліпшення стану вуглеводно-амілазного комплексу борошна. Також «доведено покращення хлібопекарських властивостей борошна із зерна пшениці, ураженого клопом-черепашкою, при її прогріванні ІЧ-випромінюванням» [30]. Проте, автором не досліджено впливу прогріву борошна ІЧ-випромінюванням на мікробіологічні показники борошна та хліба.

«Перевага використання ІЧ-випромінювання при обробці борошна полягає в тому, що інтенсифікацію прогріву борошна як капілярно пористого матеріалу» [25] можна здійснити за рахунок збільшення щільності теплового потоку на

поверхню сировини та використання властивості короткохвильового ІЧ-випромінювання проникати на деяку глибину біохімічними реакціями, що відбуваються в ній. В даному випадку, за них приймаються окислювально - відновлювальні процеси білково-протеїназного комплексу борошна, які, в основному, і зумовлюють зміцнення клейковини і підвищення сили борошна.

Таким чином, ІЧ-випромінювання широко використовується при обробці зерна та продуктів його переробки, зокрема в борошномельному та хлібопекарному виробництві.

Щодо пшеничного борошна енергія ІЧ-випромінювання, з урахуванням тривалості її впливу, може замінити процес дозрівання борошна або зміцнити клейковину слабого борошна за рахунок того, що борошно нагрівається, поглинаючи енергію ІЧ-випромінювання. За рахунок ІЧ-обробки також підвищується газоутворювальна здатність борошна.

Крім того, ІЧ-випромінювання знижує мікробіологічну контамінацію зерна та продуктів його переробки.

Перелічені властивості ІЧ-випромінювання свідчать про доцільність його використання для обробки борошна зі зниженими хлібопекарними властивостями та підвищеною мікробіологічною контамінацією. Аналіз літературних джерел свідчить про те, що досліджень з комплексного впливу ІЧ-випромінювання на хлібопекарські властивості та мікробіологічну контамінацію не проводилося, незважаючи на те, що покращення якості борошна за даними показниками є важливим завданням для борошномельного та хлібопекарського виробництва.

Висновки по розділу.

В даний час в Україні через різні фактори (низька якість в насінневого матеріалу, ґрунтово-кліматичні умови, недотримання агротехнологій та ін.) виробляється велика кількість пшеничного борошна зі слабкою клейковиною, високим числом падіння і мікробіологічної обсіменіння. Хліб, випечений з такого борошна, має низькі споживчі властивості і частіше схильний до пліснявіння і

захворювання картопляною хворобою. Все це в досить короткі терміни робить його непридатним для вживання.

Зниженими хлібопекарськими властивостями також має свіжезмелене борошно, яке необхідно витримати до 2 місяців для того, щоб його можна було використовувати для випікання хліба гарної якості.

Поліпшення хлібопекарських властивостей слабкого борошна з високим числом падіння, прискорення дозрівання свіжезмеленого борошна, запобігання пліснявінню хліба та його захворюваності картопляної хвороби є актуальними завданнями для хлібопекарських підприємств.

Для вирішення поставлених завдань при виробництві хліба широко використовуються покращувачі вітчизняного та іноземного виробництва, однак їх використання може бути небезпечним для людини при тривалому вживанні і в ряді випадків перевищення їх кількостей вище допустимого, до того ж існує небезпека їх надмірного використання.

Існуючі хімічні способи боротьби з картопляною хворобою часто знижують показники якості готового хліба.

Біологічні способи боротьби з картопляною хворобою широко використовують у хлібопекарському виробництві. Однак у разі їх використання зі спеціальним обладнанням збільшуються витрати на його придбання та обслуговування. Це практично непридатне для хлібопекарських підприємств та цехів малої потужності із періодичним циклом роботи.

На даний момент розроблено та досліджено значну кількість фізичних способів обробки зерна, борошна та води з метою покращення їх якості та технологічних властивостей.

Аналіз досліджених джерел також показав, що цілеспрямованих робіт з обробки хлібопекарської пшеничного борошна ГЧ-випромінюванням, в яких би використовувалися сучасні джерела ГЧ-випромінювання і в яких було б вивчено комплексний вплив ГЧ-променів на хлібопекарські властивості та мікробіологічну контамінацію борошна, не вироблялося.

2 МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Характеристика об'єктів дослідження та лабораторної установки

Експериментальні дослідження проводились на базі кафедри харчових технологій ДДАЕУ та Науково-дослідного центру біобезпеки та екологічного контролю ресурсів АПК «Bio Safety» ДДАЕУ.

Основним об'єктом дослідження було борошно пшеничне хлібопекарське 1-го сорту до та після обробки ІЧ-випромінюванням.

На першому етапі був розроблений спосіб обробки свіжозмеленого хлібопекарського пшеничного борошна 1-го сорту ІЧ-випромінюванням. Було вироблено борошно з підготовленого зерна пшениці, проаналізовано показники - якості отриманого борошна та обґрунтовано доцільність використання способу, що розробляється. Для отримання борошна використовувалося зерно пшениці 2-го класу (згідно з ДСТУ 3768:2019) урожаю 2022 р., вирощеного в Дніпровському районі Дніпропетровської області. Перед помелом зерно очищалося від домішок, визначалася його вологість і проводилося кондиціонування при зволоженні до 15% протягом 20-24 год з метою підвищення виходу борошна до нормативного значення 68-70%. Помел вироблявся на лабораторному млинку ТОВ «Оліс».

На підставі літературних даних та результатів власних досліджень були обґрунтовані фактори ІЧ-обробки, визначено порядок та діапазони параметрів ІЧ-обробки на лабораторній установці (рис. 2.1).



Рисунок 2.1 – Лабораторна установка для ІЧ-обробки борошна

На цій установці використовується короткохвильова область спектра ІЧ-випромінювання з довжиною хвилі 1,2-2,4 мкм. Такі показники забезпечують лампи розжарювання галогенних марок КГТ-220-1000. На установці ІЧ-обробка передбачена в імпульсному режимі з чергуванням експозиції та відлежування відповідно відповідно 1:3.

Діапазон значень товщини було прийнято з урахуванням даних [25-29] та попередніх експериментів. Значення товщини становили: 4, 7, 10 мм.

Щільність потоку ІЧ-випромінювання регулювалася зміною положення ІЧ-випромінювачів з відбивачами по відношенню один до одного і відстанню до шару борошна, що обробляється (див. малюнок 3.1). Її значення при зменшенні відстані до шару борошна склали 9, 12, 15 кВт/м² відповідно. В даному діапазоні співробітниками кафедри проводилися експерименти з ІЧ-сушіння насіння соняшника [31], тому було доцільно прийняти його для ІЧ-обробки борошна.

Діапазон експозицій ІЧ-випромінювання був прийнятий також на основі досліджень також прийняли на підставі [31] та попередніх експериментів. Ці дослідження показали, що величина експозиції у поєднанні з часом відлежування відповідно 1:3 впливає на зниження обсіменіння оброблюваної сировини різними групами мікроорганізмів. Значення експозиції становили: 3, 7, 11 с.

Загальний час інфрачервоного оброблення було прийнято на основі досліджень з обробки борошна ІЧ-випромінюванням [27]. За даними автора, двостороннє прогрівання борошна протягом 6-8 хв виявлялося достатнім для необхідного поліпшення хлібопекарських властивостей борошна. Однак він проходив у безперервному режимі при переміщенні піддону з борошном щодо джерела ІЧ-випромінювання. При вибраному нами способі обробки ІЧ-випромінюванням в імпульсному режимі експозиція-відлежування 1:3, час збільшувався з урахуванням часу відлежування до 24-32 хв. Тому загальний час ІЧ-обробки було прийнято рівним 30 хв.

Порядок ІЧ-обробки борошна на лабораторній установці був здійснений наступним чином.

Борошно розсипалося на лист шаром заданої товщини за допомогою - вирівнюючого пристрою. Деко завантажували в установку. На пульті управління установки поворотом ручок встановлювався необхідний час, включалися вентилятор та ІЧ-випромінювачі. Вентилятор подає зовнішнє повітря по повітроводу та через отвори стінки в камері установки. Подача повітря необхідна для видалення вологи та аерування борошна в процесі її обробки для інтенсифікації в ній окислювально відновлювальних процесів. Крім того, при цьому охолоджується датчик, який дає сигнали на включення ІЧ-ламп. Через отвори в задній стінці корпусу установки повітря виводиться назовні. Після завершення встановленого періоду часу ІЧ-випромінювачі вимикаються автоматично. Режим їх роботи визначається датчиком часу, пов'язаним з блоком автоматики. Це забезпечує імпульсний режим процесу.

У процесі ІЧ-обробки контролювалися верхній і нижній межі температури. Це викликано тим, що перевищення температури борошна вище 65-70 °С може спричинити денатурацію білкових речовин борошна, що призведе до втрати борошном її хлібопекарських властивостей. Також знімалися показання лічильника електроенергії для визначення її витрати.

Після закінчення обробки випромінювачі відключалися, а деко з - обробленим борошном виймалося з камери установки для природного охолодження.

Оброблене борошно використовувалося для дослідження показників якості - та випікання хліба.

2.2 Визначення методик дослідження

Зразки свіжозмеленого та обробленого борошна піддавалися аналізам за регламентованими показниками якості за допомогою стандартизованих - органолептичних, фізико-хімічних та мікробіологічних методів досліджень.

Вологість зразків борошна та м'якуші хліба визначалася за Міждержавним стандартом 9404-88.

Масова частка та якість сирієї клейковини за приладом ІДК визначалися за Міждержавним стандартом 27839-88. Для визначення масової частки клейковини вироблявся заміс тесту з 25 г борошна на лабораторній машині для замісу тесту. Тісто залишалося на вистоювання протягом 20 хв. Клейковина відмивалася з тіста вручну, шляхом зважування визначалася її маса, робився перерахунок на масову частку. Якість клейковини визначалося на приладі ІДК-3М.

Вміст сухого білка визначалося аналітичним методом згідно з Міждержавним стандартом 10846-91.

Число падіння визначалося згідно з Міждержавним стандартом 27676-88 на приладі марки ПЧП-3.

Для дослідження стійкості показників якості борошна під час її зберігання після ІЧ-обробки зразки свіжозмеленого борошна, обробленого ІЧ-випромінюванням за оптимальним режимом, після обробки закладалися на зберігання в мішки з тканини при температурі повітря (20 ± 2) °С і вологості повітря (65 ± 2)%. Як контрольний зразок використовувалася необроблене - свіжозмелене борошно.

Фізико-хімічні показники борошна визначалися після помелу та обробки, а також після 2, 4 та 6 тижнів зберігання. Такі терміни були обрані з урахуванням можливого розриву в часі між ІЧ-обробкою борошна і випіканням хліба і тим, що свіжозмелене борошно за 6 тижнів проходить природний процес дозрівання, що зручно при порівнянні контрольованих параметрів.

Висновки по розділу.

В розділі надано характеристику використаної сировини, описано процес підготовки зерна пшениці до помелу, методику виконання помелу. Описано лабораторну установку для виконання процесу ІЧ-обробки зерна та продуктів його переробки. Визначено методики, якими користувалися під час проведення досліджень щодо визначення показників якості борошна та хліба, випеченого із борошна, яке було оброблене ІЧ-променями.

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1 Аналіз якості свіжозмеленого пшеничного борошна

Для розробки способу та обґрунтування параметрів ІЧ-обробки борошна було необхідно проаналізувати його фізико-хімічні показники якості та стан мікробіологічної контамінації.

Відомо, що свіжозмелене борошно має знижені хлібопекарні властивості і близьке по них до слабкого борошна. Тому воно було прийняте за контрольний зразок.

У таблиці 3.1 наведено результати аналізів органолептичних показників якості першої партії свіжозмеленого хлібопекарського пшеничного борошна 1-го сорту врожаю 2022 р. згідно з Міждержавним стандартом 52189-03.

Таблиця 3.1 – Органолептичні показники свіжозмеленого хлібопекарського пшеничного борошна 1-го сорту

Найменування показника	Характеристика показника	Вимоги щодо Міждержавного стандарту 52189-2003
Колір	Білий	Білий або білий із кремовим відтінком
Смак	Властивий пшеничного борошна, сторонні присмаки відсутні	Властивий пшеничного борошна, без сторонніх присмаків, не кислий, не гіркий
Запах	Властивий пшеничного борошна, сторонні запахи відсутні	Властивий пшеничного борошна, без сторонніх запахів, не затхлий, не пліснявий

Таким чином, результати органолептичної оцінки борошна дають підстави вважати, що воно має прийнятні органолептичні показники, відповідні вимогам стандарту, і може бути використане для випікання хліба.

У таблиці 3.2 наведено результати аналізів фізико-хімічних показників борошна.

Таблиця 3.2 – Фізико-хімічні показники свіжозмеленого хлібопекарського пшеничного борошна 1-го сорту

найменування показника	Значення показника	Нормативне значення показника за Міждержавним стандартом 52189-2003
Масова частка вологи, %	12,5	не більше 15,0
Масова частка сирі клейковини, %	31,04	не менше 30,0
Якість сирі клейковини, ум. од. приладу ІДК	82,5 (друга група якості - задовільно слабка)	не нижче другої групи
Число падіння, с	388	не менше 185

Згідно з отриманими даними, масова частка вологи в досліджуваній партії свіжозмеленого борошна і масова частка (вміст) сирі клейковини знаходилися в допустимих межах і відповідали вимогам стандарту.

Якість сирі клейковини за приладом ІДК склала 82,5 умовних одиниць приладу, що дозволило віднести її до II групи якості з характеристикою - «задовільно слабка» згідно з Міждержавним стандартом 27839-88, що погоджується з сучасними уявленнями про те, що у свіжозмеленого борошна властивості такі як у борошна зі слабкою клейковиною (слабкого борошна).

Значення числа падіння в 388 с свідчить про те, що отримане борошно володіє, згідно з даними досліджень, низькою газоутворюючою здатністю (менше 1300 см³) [9]. Це було ознакою недостатньої амілолітичної активності у вуглеводно-амілазному комплексі борошна, необхідної для нормального бродіння тіста та отримання хліба стандартної якості.

Для визначення мікробіологічної контамінації борошна було досліджено вміст у ньому кількість КУО/г трьох груп мікроорганізмів: бактерій групи картопляної палички, пліснявих грибів та КМАФАнМ.

Результати аналізу борошна на мікробіологічну обсіменіння наведено у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Мікробіологічні показники свіжозмеленого пшеничного борошна 1-го сорту

Продукт	Мікробіологічна контамінація, КУЕ/г		
	Бактерії групи картопляної палички	Цвілеві гриби	КМАФАнМ
Борошно пшеничне 1-го сорту свіжозмелене	$3,1 \times 10^3$	$7,2 \times 10^2$	$2,8 \times 10^5$

Отримані результати свідчили про наявність у борошні досліджуваних груп мікроорганізмів.

Відомо, що при випіканні хліба більшість КМАФАнМ і всі цвілеві гриби гинуть, але є ймовірність зростання даних груп мікроорганізмів при бродінні тіста, коли настають сприятливі температурно-вологісні умови для їх діяльності. Тому при ПЧ-обробці борошна кількість МАФАнМ і плісняви знижується ще до стадії замісу тіста та випічки хліба, що може з високою ймовірністю отримати хліб кращої якості.

Наявність в досліджуваному борошні бактерій групи картопляної палички свідчило про високу ймовірність захворювання хліба на картопляну хворобу, оскільки їх вміст у борошні вище $1,0 \times 10^3$ КУО /г [9]. Так як при випіканні хліба спори бактерій майже не гинуть, то ПЧ-обробкою було необхідно знизити їх вміст до величини, при якій в хлібі не утвориться картопляна хвороба.

Виходячи з отриманих результатів, в досліджуваній партії свіжозмеленого борошна було необхідно поліпшити якість клейковини шляхом прискорення дозрівання борошна, тобто підвищити силу борошна, підвищити амілолітичну активність вуглеводно-амілазного комплексу борошна, і навіть знизити мікробіологічну контамінацію борошна, особливо бактеріями групи картопляної палички. Тому було ухвалено рішення в подальших дослідженнях використати іншу партію борошна того ж урожаю.

Таким чином, фізико-хімічні та мікробіологічні показники досліджуваних партій борошна свідчать про можливість застосування способу ІЧ-обробки борошна для регулювання її хлібопекарських властивостей та контамінації мікроорганізмами в необхідному напрямку.

3.2 Визначення режиму ІЧ-обробки пшеничного борошна

На підставі проведених теоретичних досліджень і досліджень - співробітників кафедри харчових технологій ДДАЕУ з ІЧ-сушіння насіння соняшника був розроблений порядок обробки хлібопекарського пшеничного борошна 1-го сорту ІЧ-випромінюванням в імпульсному режимі на лабораторній установці та визначено діапазон параметрів ІЧ-обробки.

Для визначення діапазону параметрів ІЧ-обробки було обрано три фактори, що впливають на борошно при ІЧ-обробці в імпульсному режимі:

- товщина шару борошна, мм;
- щільність потоку ІЧ-випромінювання, кВт/м²;
- експозиція ІЧ-випромінювання, с.

Результати попередніх досліджень показали, що на хлібопекарські властивості борошна вплинули зміни в її білково-протеїназному та вуглеводно-амілазному комплексах, що відбуваються при ІЧ-обробці борошна.

В дослідженнях [27] встановлено, що між вмістом сирової клейковини та факторами товщини шару та борошна щільності потоку ІЧ-випромінювання існує середня кореляція ($R = 0,588$), рівняння регресії достовірно ($F < p > FE$). При цьому фактор експозиції ІЧ-випромінювання не є суттєвим для збільшення вмісту клейковини.

Для підтвердження літературних даних було проведено експериментальні дослідження на лабораторній установці. Вплив товщини шару та борошна щільності потоку ІЧ-випромінювання на вміст клейковини є істотним, що видно з побудованих графічних залежностей (рис. 3.1 та 3.2).

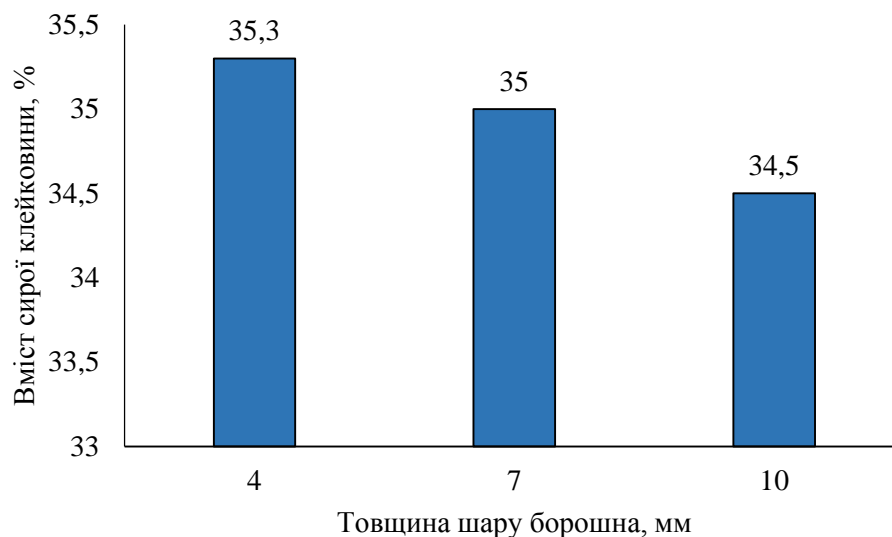


Рисунок 3.1 – Залежність масової частки (вмісту) сирової клейковини від товщини шару борошна

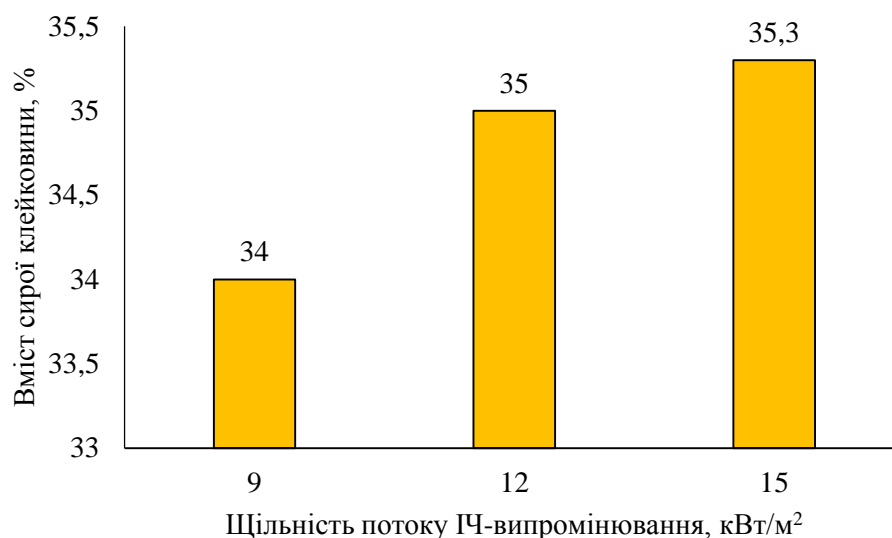


Рисунок 3.2 – Залежність масової частки (вмісту) сирової клейковини від щільності потоку ІЧ-випромінювання

З даних малюнка видно, що максимальне збільшення вмісту клейковини (на 4-6% порівняно зі свіжозмеленим борошном) відбувається при товщинах шару борошна від 4 до 7 мм і щільності потоку ІЧ-випромінювання від 12 до 15 кВт/м². При цьому частка зміни вмісту сирової клейковини у зв'язку з дією виявлених факторів становить близько 35%.

Пояснити це можна тим, що ІЧ-випромінювання прискорює окисно-відновлювальні процеси в білково-протеїназному комплексі борошна, в результаті яких відбуваються фізико-хімічні зміни основних клейковинних білків: гліадину і глютеніну.

Оптимальний час експозиції ІЧ-обробки встановлювали за результатами зміни показників приладу ІДК (рис. 3.3).

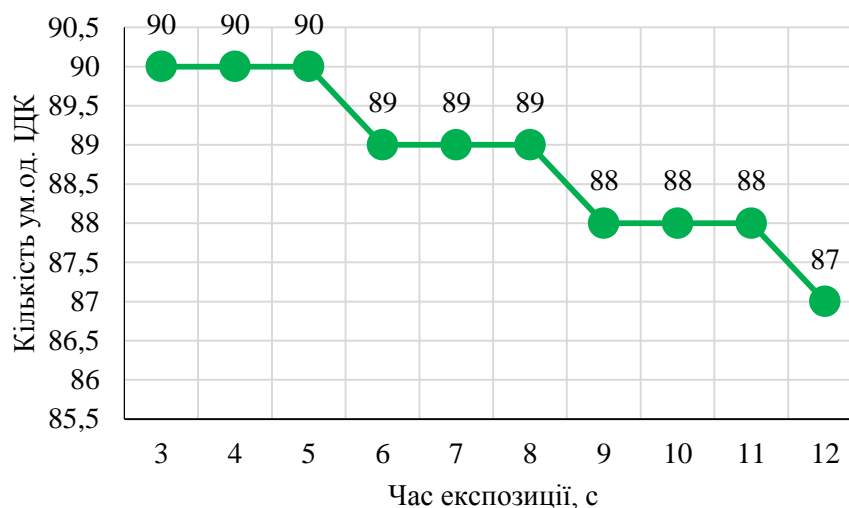


Рисунок 3.3 – Залежність якості сирі клейковини від часу експозиції

Збільшенню показника ІДК також сприяє нижчі значення експозиції ІЧ-випромінювання. Показник ІДК у заданій області має найбільше значення за наступних значень експозиції ІЧ-випромінювання рівним 3-5 с.

Отже, за отриманими результатами приймаємо наступні параметри ІЧ-обробки пшеничного борошна: товщина шару – 4..7 мм, щільність потоку ІЧ-випромінювання – 12...15 кВт/м² та експозиція – 3..5 с.

3.3 Визначення стійкості показників якості пшеничного борошна при його зберіганні після ІЧ-обробки

Після визначення раціональних параметрів ІЧ-обробки перевірялася стійкість досягнутих в результаті обробки значень фізико-хімічних та мікробіологічних показників якості борошна.

При цьому було обрано для дослідження 4 зразка борошна, три з яких оброблювали за різними параметрами:

1. товщина шару a – 4 мм, щільність випромінювання E – 12 кВт/м², експозиція τ – 7 с;

2. a – 7 мм, E – 12 кВт/м², τ – 7 с;

3. a – 10 мм, E – 12 кВт/м², τ – 3 с.

Четвертий зразок був контрольним, тобто зразок свіжозмеленого пшеничного борошна.

Результати дослідження зміни вологості борошна під час зберігання наведено на рис. 3.4.

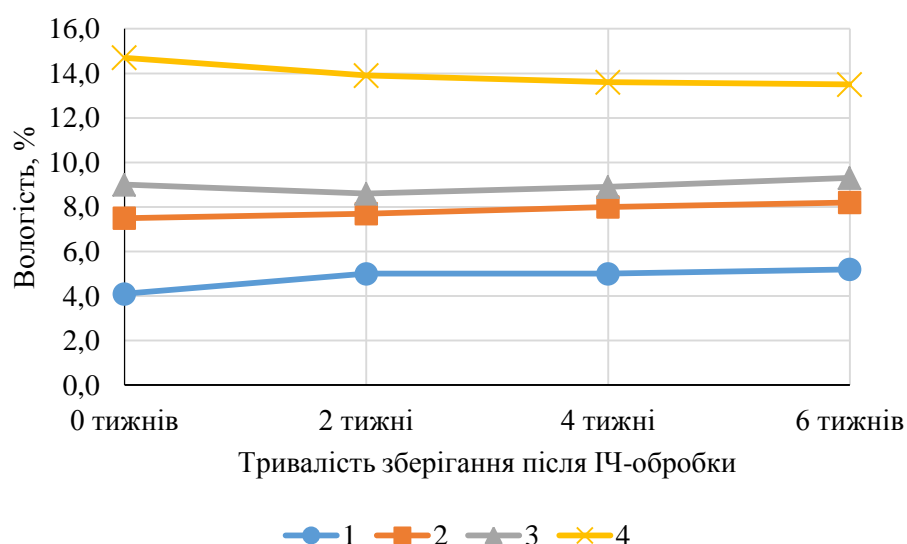


Рисунок 3.4 – Зміна вологості борошна при зберіганні

З графіка видно, що вологість у всіх зразках борошна змінювалася незначно, коливання не перевищили в цілому 1,5% для кожного режиму обробки. Таким чином, борошно після інфрачервоної обробки може зберігати постійну вологість за відповідних умов зберігання. Найменший вміст води може сприяти збереженню хлібопекарських властивостей борошна та перешкоджати розвитку мікроорганізмів. При цьому вологість закономірно нижча після обробки, якщо шар борошна, що обробляється, менший.

На рис. 3.5 представлений графік змін вмісту (масової частки) сирі клейковини у зразках борошна під час зберігання.

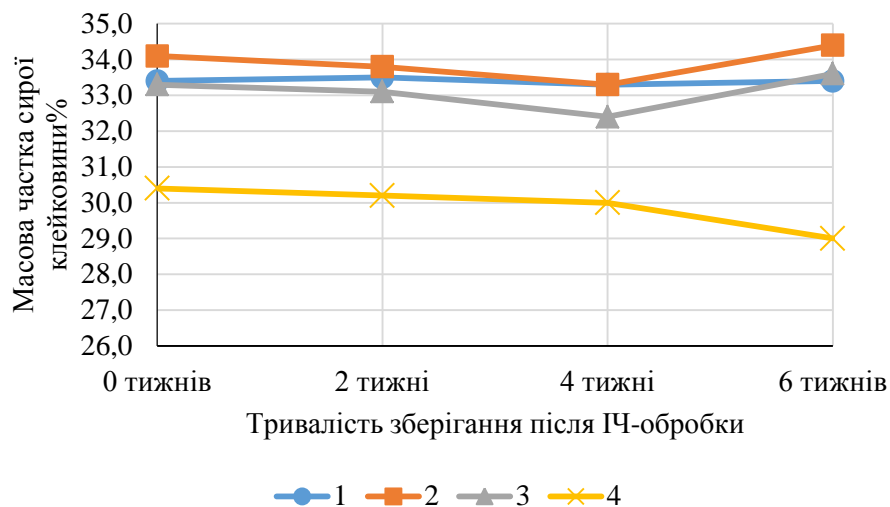


Рисунок 3.5 – Зміна вмісту сирі клейковини борошна при зберіганні

З отриманих величин показника вмісту сирі клейковини можна зробити висновок, що всі оброблені зразки здатні зберігати значення даного показника. У той час як при зберіганні необробленого борошна вміст клейковини через 6 тижнів закономірно знижується, що узгоджується з сучасними уявленнями [9]. Це можна пояснити тим, що в борошні міститься менше вологи, що уповільнює дані процеси протягом досліджуваного проміжку часу.

На рис. 3.6 наведено результати дослідження зміни якості клейковини за показниками приладу ІДК у зразках борошна під час зберігання.

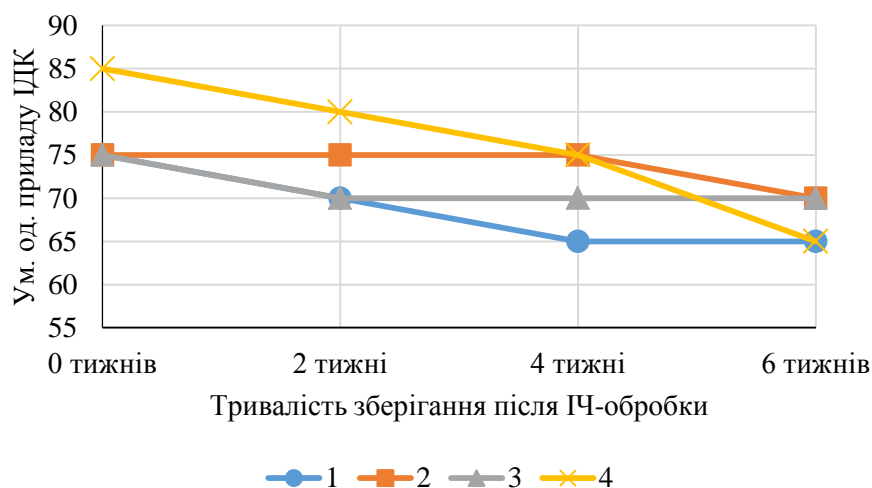


Рисунок 3.6 – Зміна якості клейковини борошна при зберіганні

Згідно з отриманими даними, при зберіганні як обробленого, так і необробленого борошна відбувається зміцнення клейковини, оскільки показник ІДК знижується. При цьому для необробленого борошна показник ІДК зменшувався кожні 2 тижні на 5 одиниць приладу, що свідчить про дозрівання борошна [9].

У зразку обробленого борошна №1 відбулося зменшення показника ІДК на 5 одиниць через 2 тижні зберігання, і ще на 5 одиниць після 4 тижнів зберігання, далі даний показник фактично не змінювався. Зміна показника ІДК у зразках, оброблених за варіантами №2 та №3, практично однаково, через 6 тижнів значення показника змінилося з 75 до 70 одиниць.

З отриманих величин показника вмісту сирової клейковини можна зробити висновок, що зміцнення клейковини в обробленому борошні при зберіганні відбувається менш інтенсивно, тому що в цілому дані процеси відбуваються при його ПЧ-обробці, а при зберіганні борошна йде вже «дозрівання». Однак вже після обробки за всіма перерахованими варіантами свіжозмелене борошно має необхідне значення ІДК, при якому борошно відноситься до I групи якості («хороша») і може бути використана для випічки хліба.

На рис. 3.7 представлено графік зміни числа падіння під час зберігання борошна.

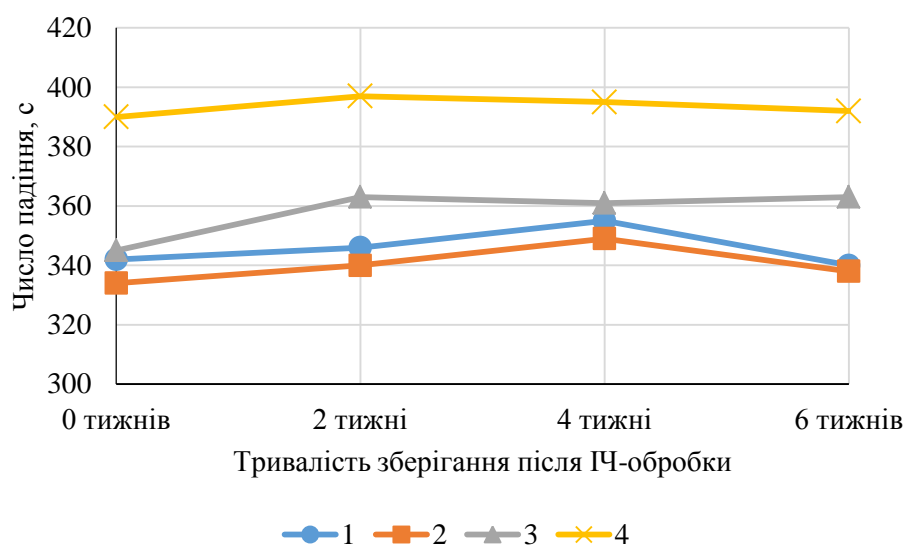


Рисунок 3.7 – Зміна числа падіння у зразках борошна при зберіганні

З графіка 3.7 видно, що у всіх зразках борошна число падіння змінилося незначно, тобто зберігання за нормальних умов не впливає на стан вуглеводно-амілазного комплексу борошна, що узгоджується з даними низки досліджень [9].

У таблиці 3.4 представлені результати дослідження мікробіологічної контамінації борошна, що пройшло ІЧ-обробку, у процесі його зберігання протягом 1,5 місяців.

Таблиця 3.4 – Вплив ІЧ-обробки на вміст бактерій групи картопляної палички в борошні при його зберіганні

Параметри ІЧ-обробки	Вміст бактерій групи картопляної палички, КУО/г	
	після помелу	6 тижнів зберігання
№1 ($a - 4$ мм, $E - 12$ кВт/м ² , $\tau - 7$ с)	$0,94 \cdot 10^2$	$7,09 \cdot 10^2$
№2 ($a - 7$ мм, $E - 12$ кВт/м ² , $\tau - 7$ с)	$6,85 \cdot 10^2$	$4,27 \cdot 10^2$
№3 ($a - 10$ мм, $E - 12$ кВт/м ² , $\tau - 3$ с)	$2,76 \cdot 10^2$	$1,34 \cdot 10^3$

З даних табл. 3.4 видно, що для зберігання обробленого борошна терміном до 6 тижнів найбільш сприятливими виявилися №1 та №2. Протягом досліджуваного терміну зберігання вміст бактерій у них не перевищує $1,0 \times 10^3$ КУО/г, до того ж, через поліпшення фізико-хімічних показників борошна, хліб має невелику ймовірність захворювання картопляною хворобою. Для варіанта №3 після 6 тижнів зберігання було відзначено вміст бактерій вище 10^3 КУО/г.

Збільшення вмісту в борошні бактерій можна пояснити їх потраплянням у муку з навколишнього повітря. Однак їх наявність у борошні не є фактом того, що хліб може бути схильний до захворювання картопляною хворобою, оскільки її розвитку буде перешкоджати поліпшення поліпшення органолептичних і фізико-хімічних показників якості хліба.

Таким чином, в результаті проведення даних досліджень було з'ясовано, що ефект ІЧ-обробки борошна зберігається протягом декількох тижнів. При цьому гарантований термін зберігання борошна, згідно з результатами досліджень, становить 4 тижні.

Висновки по розділу.

Встановлено, що фізико-хімічні та мікробіологічні показники - досліджуваних партій борошна свідчать про можливість застосування способу ІЧ-обробки борошна для регулювання її хлібопекарських властивостей та контамінації мікроорганізмами в необхідному напрямку.

За отриманими результатами визначено оптимальні параметри ІЧ-обробки пшеничного борошна: товщина шару – 4..7 мм, щільність потоку ІЧ-випромінювання – 12...15 кВт/м² та експозиція – 3..5 с.

Визначено, що вологість у всіх зразках борошна змінювалася незначно, коливання не перевищили в цілому 1,5% для кожного режиму обробки. Таким чином, борошно після інфрачервоної обробки може зберігати постійну вологість за відповідних умов зберігання.

Встановлено, що при зберіганні необробленого борошна вміст клейковини через 6 тижнів закономірно знижується, що узгоджується з сучасними уявленнями

з отриманими даними, при зберіганні як обробленого, так і необробленого борошна відбувається зміцнення клейковини, оскільки показник ІДК знижується. При цьому для необробленого борошна показник ІДК зменшувався кожні 2 тижні на 5 одиниць приладу, що свідчить про дозрівання борошна.

Зафіксовано, що зміцнення клейковини в обробленому борошні при зберіганні відбувається менш інтенсивно, тому що в цілому дані процеси відбуваються при його ІЧ-обробці, а при зберіганні борошна йде вже «дозрівання»

Протягом досліджуваного терміну зберігання вміст бактерій у зразків, які обробляли 7 с при товщині шару 4 та 7 мм не перевищує $1,0 \times 10^3$ КУО/г, до того ж, через поліпшення фізико-хімічних показників борошна, хліб має невелику ймовірність захворювання картопляною хворобою.

Таким чином, в результаті проведення даних досліджень було з'ясовано, що ефект ІЧ-обробки борошна зберігається протягом декількох тижнів. При цьому гарантований термін зберігання борошна, згідно з результатами досліджень, становить 4 тижні.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Дослідження стану охорони праці під час роботи з установками генераторами інфрачервоного випромінювання

«Інфрачервоне випромінювання є формою невидимого для ока електромагнітного випромінювання з довжиною хвилі від 1 до 2 мм до 0,74 мкм. Воно спостерігається переважно під час роботи з гарячими печами, де використовується розплавлений метал або скло, а також під час соціальних і технологічних процесів, що включають використання електричної дуги» [32]. Інфрачервоне випромінювання в основному має тепловий ефект і може призводити до збільшення обміну речовин, змін в складі крові, поляризації шкіри людини та інших наслідків.

Наявні дані свідчать про участь серцево-судинної системи в реакції на інфрачервоне опромінення, про що свідчить збільшення частоти серцевих скорочень, підвищення систолічного тиску та зниження діастолічного тиску.

Серед робітників гарячих цехів, де відбувається значна інтенсивність інфрачервоного випромінювання, спостерігаються часті випадки захворювань серцево-судинної системи та органів травлення. «Частота дистрофічних змін міокарда у таких робітників є в 2-2,5 рази вищою, ніж у тих, хто працює в умовах мікроклімату з припустимими значеннями температури» [33].

«Показники гіпертензії підвищені в 1,5-1,7 рази, артеріальна гіпертонія - у 7-8 разів. Захворювання серцево-судинної системи становить 23,6% серед усіх причин інвалідності металургійних робітників» [34]. Після одного року роботи в гарячих цехах спостерігається зниження імунної реактивності. Процес адаптації організму до високої зовнішньої температури повітря супроводжується порушеннями білкового обміну.

У робітників з тривалим стажем у гарячих цехах спостерігаються стійкі порушення імунної реактивності організму, що свідчить про постійне напруження його функціонального стану та збільшення захворювань органів дихання

простудного характеру. «У цехах з високим рівнем інфрачервоного випромінювання (до 1568 ± 240 Вт/м²) та високою температурою повітря ($32,5 \pm 2,0$ °C) робітники мають значно підвищений ризик смерті від ішемічної хвороби серця, гіпертонічної хвороби, хвороб артерій, артеріол та капілярів» [33, 34].

При надмірному впливі інфрачервоного випромінювання спостерігається термічне ураження сітківки та кришталика очей, що може призвести до розвитку катаракти. Основою дії інфрачервоного випромінювання на орган зору є переважно тепловий ефект. Було встановлено, «що різні частини ока пропускають різну кількість потоку, що падає: рогівка - 20-25%, камерна волога - 20-30%, кришталик - до 30%, склоподібне тіло - до 60% променів. До сітківки проникають промені з довжиною хвилі від 0,34 до 1,32 мкм» [33]. Катаракта є найбільш поширеною і серйозною ураженням ока внаслідок впливу інфрачервоного випромінювання, і її особливістю є те, що вона завжди починається в центрі задньої поверхні кришталика.

Заходи профілактики негативного впливу інфрачервоного випромінювання включають:

- «заходи, спрямовані на запобігання впливу інфрачервоного опромінення на людину на робочому місці.
- заходи, спрямовані на зниження інтенсивності інфрачервоного випромінювання та температури повітря на робочому місці.
- заходи, спрямовані на поліпшення теплового стану працівників, які працюють у нагрівальному середовищі, а також на профілактику негативного впливу інфрачервоного випромінювання на шкірний покрив (опіки) та очі» [34].

Впровадження нових технологічних процесів та автоматизація виробництва можуть усунути небажаний вплив інфрачервоного випромінювання на організм людини. Крім того, на робочих місцях операторів забезпечується комфортний мікроклімат.

Зниження температурного навантаження досягається також шляхом правильного планування та розміщення обладнання у виробничих приміщеннях, скорочення часу перебування працівників у нагрівальному середовищі. Для

локалізації теплових випромінювань від відкритих прорізів та нагрітих поверхонь обладнання використовуються спеціальні відбивні, поглинаючі та відвідні екрани. В результаті застосування таких екранів інтенсивність теплового випромінювання на робочих місцях знижується вдесятеро.

Залежно від того, яка ділянка поверхні тіла опромінюється і яка її площа, можна використовувати різні засоби захисту, такі як костюми, накладки, фартухи, окремі куртки або штани і інші.

При виборі засобів індивідуального захисту працівників від шкідливого впливу інфрачервоного випромінювання необхідно бути обережним. Важливо мати на увазі, що, незважаючи на наявні технічні вимоги до захисних властивостей засобів захисту, багато з них не можуть ефективно знімати теплове навантаження на організм працюючих. «Один з важливих критеріїв при виборі засобів індивідуального захисту полягає в наявності таких захисних властивостей, як запобігання ураженню шкіри внаслідок нагрівання внутрішньої поверхні одягу до температури понад 40°C » [34].

У випадках, коли неможливо дотримати регламентовану інтенсивність теплового опромінення на робочих місцях (наприклад, через вимоги технологічного процесу, економічну недоцільність або технічну недосяжність), рекомендується використовувати заходи, які сприяють збільшенню тепловтрат організму шляхом радіації або конвекції. «Це може бути досягнуто за допомогою встановлення екранів з охолодною поверхнею або пристроїв, що сприяють руху повітря. У випадку теплового опромінення в межах $150\text{-}350\text{ Вт/м}^2$ рекомендується збільшити швидкість руху повітря на $0,2\text{ м/с}$ вище нормованих значень. При тепловому опроміненні в 350 Вт/м^2 та вище рекомендується використовувати систему повітряного охолодження робочих місць» [33].

Залежно від ділянки поверхні тіла, яка піддається опроміненню, і її площі можуть використовуватися різні засоби захисту, такі як костюми, накладки, фартухи, окремі куртки або штани і т. д. Наприклад, сталевари, особливо під час випуску металу, повинні мати комплект захисного одягу, що складається з костюма, взуття, головного убору, рукавиць та засобів захисту для обличчя та

очей. Для захисту працівників у ковальсько-пресових цехах достатньо використовувати фартух з матеріалу, який має металізоване покриття.

При роботі заборонено:

а) «включати неекрановані лампи інфрачервоного та ультрафіолетового випромінювання у присутності людей.

б) довго дивитися включену лампу, що випромінює інфрачервоне випромінювання, що може шкодити очам» [35].

При використанні інфрачервоних опромінювачів необхідно захищати очі персоналу, який обслуговує установки, окулярами з бічним захистом. Між процедурами рефлектори опромінювачів з лампами повинні бути закриті захисними заслінками, а якщо таких немає - щільними чорними "спідницями" довжиною 50 см з білою прокладкою, які надягаються на край рефлектора опромінювача. Виключену лампу слід спустити до підлоги.

Заборонено входити до приміщення з включеними опромінювачами або дивитися на них без захисних окулярів, щоб запобігти опікам слизових оболонок очей.

«При недостатній вентиляції приміщення може виникати запах озону. У таких випадках слід вимкнути лампи та провітрити приміщення. Після вимкнення опромінювачів (крім закритого типу) можна входити в приміщення після провітрювання протягом 10-15 хвилин» [35]. Вимкнуті та непрацюючі лампи слід зберігати упакованими в спеціальному приміщенні.

Висновки по розділу.

В розділі наведено основні вимоги охорони праці при роботі з установками, що містять генератори інфрачервоного випромінювання. Встановлено, що випадку теплового опромінення в межах $150-350 \text{ Вт/м}^2$ рекомендується збільшити швидкість руху повітря на $0,2 \text{ м/с}$ вище нормованих значень. При тепловому опроміненні в 350 Вт/м^2 та вище рекомендується використовувати систему повітряного охолодження робочих місць.

5 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

5.1 Витрати, пов'язані з проведенням дослідження

«До витрат, які пов'язані з проведенням дослідження відносяться: витрати на основні матеріали, електроенергію, нарахування на заробітну плату, амортизацію, накладні витрати» [36].

Витрати на основні матеріали, затрачені на проведення дослідження, розраховують по формулі (5.1):

$$M = \sum m_i \cdot C_i, \quad (5.1)$$

де m_i – кількість витраченого i -го матеріалу;

C_i – ціна одиниці i -го матеріалу, грн.

Розрахунок необхідної кількості матеріалів і їх вартість приводяться в табл.5.1.

Таблиця 5.1 – Необхідна кількість матеріалів та їх вартість

Найменування матеріалу, одиниці	Кількість	Ціна за одиницю, грн	Сума, грн
Зерно пшениці 2-го класу	10	5,00	50,00
Лампа КГТ-220-1000	2	300,00	600,00
Деко металеве	2	581,00	1162,00
Пробірка для приладу ПЧП	2	400,00	800,00
Всього			2612,00

«Заробітна плата працівників, що займалися дослідженням, визначається множенням середньогодинного заробітку працівника на кількість витраченого часу» [36]. Розрахунки зводяться в табл. 5.2.

Таблиця 5.2 – Розрахунок витрат на заробітну плату

Посада	Середньо-місячний заробіток, грн	Середньо-годинний заробіток, грн	Кількість людино-годин	Сума, грн
Дипломний керівник	8000	50,00	20	1000
Всього				1000

Нарахування на заробітну плату приймаються у розмірі 22 % єдиного соціального внеску. Від загальної суми заробітної платні вони складають:

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

Затрати на витрачену електроенергію визначаються по формулі (5.2):

$$E = M \cdot K \cdot T \cdot a, \quad (5.2)$$

де M – потужність встановленого електрообладнання, кВт;

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

T – час роботи на обладнанні, год;

a – тариф за електроенергію (за 1 кВт), грн/(кВт/год.).

$$E_{\text{лаб.млин}} = 1,0 \cdot 0,9 \cdot 10 \cdot 2,64 = 23,76 \text{ грн};$$

$$E_{\text{ГЧ-устан.}} = 3,0 \cdot 0,9 \cdot 20 \cdot 2,64 = 142,56 \text{ грн};$$

$$E_{\text{сущ.шаф.}} = 2,0 \cdot 0,9 \cdot 20 \cdot 2,64 = 95,04 \text{ грн};$$

$$E_{\text{ваг}} = 0,8 \cdot 5 \cdot 4 \cdot 2,64 = 42,24 \text{ грн.}$$

Отже, загальні витрати електроенергії становитимуть:

$$E_{\text{заг}} = E_{\text{лаб.млин}} + E_{\text{ГЧ-устан.}} + E_{\text{сущ.шаф.}} + E_{\text{ваг}} = 23,76 + 142,56 + 95,04 + 42,24 = 303,60 \text{ грн.}$$

Витрати на амортизацію устаткування, що використовується в процесі проведення досліджень, знаходяться за формулою (5.3):

$$A = \frac{\Phi \cdot H \cdot t}{100 \cdot 365}, \quad (5.3)$$

де A – амортизаційні відрахування, грн.

Φ – вартість устаткування, грн.;

H – річна норма амортизації, %;

t – тривалість проведення дослідження на даному устаткуванні, (місяців, днів);

365 – кількість днів у році.

$$A_{\text{лаб.млин.}} = \frac{3400 \cdot 20 \cdot 1}{100 \cdot 365} = 1,86 \text{ грн};$$

$$A_{\text{ІЧ-устан.}} = \frac{10000 \cdot 20 \cdot 1}{100 \cdot 365} = 5,48 \text{ грн};$$

$$A_{\text{сушил.шаф.}} = \frac{24000 \cdot 20 \cdot 1}{100 \cdot 365} = 13,15 \text{ грн};$$

$$A_{\text{ваг}} = \frac{4000 \cdot 12,5 \cdot 1}{100 \cdot 365} = 1,37 \text{ грн}.$$

Результати розрахунків витрат на амортизацію наведено в табл.5.3.

Таблиця 5.3 – Результати розрахунків витрат на амортизацію

Устаткування	Вартість, грн	Річна норма амортизації, %	Час роботи, днів	Витрати на амортизацію, грн
Лабораторний млинок	3400	20	1	1,86
ІЧ-установка	10000	20	1	5,48
Сушильна шафа	24000	20	1	13,15
Ваги лабораторні	4000	12,5	1	1,37
Всього				21,86

«Накладні витрати – це витрати, пов’язані із опаленням, освітленням, вентиляцією, утриманням бібліотеки, ремонтом приміщень, страхуванням навчально-допоміжного і адміністративно-управлінського персоналу та інші господарські витрати» [36].

Накладні витрати приймаються на рівні 80% від нарахованої заробітної платні виконавців дослідження:

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

Результати розрахунку всіх витрат на проведення наукового дипломного дослідження зводимо в табл.5.4.

Таблиця 5.4 – Кошторис витрат на проведення дослідження

Витрати	Сума, грн
Основні матеріали	2612,00
Заробітна плата	1000,00
Нарахування на заробітну плату	220,00
Електроенергія	303,60
Амортизація	21,86
Накладні витрати	800,00
Всього	4957,46

Як видно з табл. 5.4, найбільшими статтями витрат під час проведення дослідження обґрунтування технології обробки пшеничного борошна інфрачервоним опроміненням і є витрати на основні матеріали, які складають 52,6 % від загальної суми витрат, що пов’язано з високою вартістю необхідного обладнання.

Найменші витрати під час проведення дослідження були пов’язані з амортизацією використаного обладнання, і склали 0,4 % від загальної суми витрат.

5.2 Розрахунок ціни дослідження

«Науково-дослідна робота відноситься до фундаментальних досліджень, тому ціна визначається на основі витрат на дослідження та рентабельності, згідно формули (5.4)» [36]:

$$Ц = C + \frac{P \cdot C}{100}, \quad (5.4)$$

де $Ц$ – ціна дослідження, грн.;

C – витрати на дослідження, грн.;

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

Таким чином:

$$Ц = 4957,46 + \frac{30 \cdot 4957,46}{100} = 6444,70 \text{ грн.}$$

Отже, вартість проведеного дослідження становить 6444,70 грн.

Висновки по розділу.

Відповідно до плану проведення дослідження було розраховано основні витрати на проведення дослідження та ціну дослідження.

Найбільшими статтями витрат під час проведення дослідження є витрати на основні матеріали, які складають 52,6 % від загальної суми витрат, що пов'язано з високою вартістю необхідного обладнання. Найменші витрати під час проведення дослідження були пов'язані з амортизацією використаного обладнання, і склали 0,4 % від загальної суми витрат.

Загалом, з урахуванням 30% нормативної рентабельності вартість проведеного дослідження становить 6444,70 грн.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Поліпшення хлібопекарських властивостей слабого борошна з високим числом падіння, прискорення дозрівання свіжозмеленого борошна, запобігання пліснявінню хліба та його захворюваності картопляної хвороби є актуальними завданнями для хлібопекарських підприємств.

На даний момент розроблено та досліджено значну кількість фізичних способів обробки зерна, борошна та води з метою покращення їх якості та технологічних властивостей. Аналіз досліджених джерел також показав, що цілеспрямованих робіт з обробки хлібопекарської пшеничного борошна ІЧ-випромінюванням досить мало.

Встановлено, що фізико-хімічні та мікробіологічні показники - досліджуваних партій борошна свідчать про можливість застосування способу ІЧ-обробки борошна для регулювання її хлібопекарських властивостей та контамінації мікроорганізмами в необхідному напрямку.

За отриманими результатами визначено оптимальні параметри ІЧ-обробки пшеничного борошна: товщина шару – 4..7 мм, щільність потоку ІЧ-випромінювання – 12...15 кВт/м² та експозиція – 3..5 с.

Визначено, що вологість у всіх зразках борошна змінювалася незначно, коливання не перевищили в цілому 1,5% для кожного режиму обробки. Таким чином, борошно після інфрачервоної обробки може зберігати постійну вологість за відповідних умов зберігання.

Встановлено, що при зберіганні необробленого борошна вміст клейковини через 6 тижнів закономірно знижується, що узгоджується з сучасними уявленнями

з отриманими даними, при зберіганні як обробленого, так і необробленого борошна відбувається зміцнення клейковини, оскільки показник ІДК знижується. При цьому для необробленого борошна показник ІДК зменшувався кожні 2 тижні на 5 одиниць приладу, що свідчить про дозрівання борошна.

Зафіксовано, що зміцнення клейковини в обробленому борошні при зберіганні відбувається менш інтенсивно, тому що в цілому дані процеси відбуваються при його ІЧ-обробці, а при зберіганні борошна йде вже «дозрівання»

Протягом досліджуваного терміну зберігання вміст бактерій у зразків, які обробляли 7 с при товщині шару 4 та 7 мм не перевищує $1,0 \times 10^3$ КУО/г, до того ж, через поліпшення фізико-хімічних показників борошна, хліб має невелику ймовірність захворювання картопляною хворобою.

Таким чином, в результаті проведення даних досліджень було з'ясовано, що ефект ІЧ-обробки борошна зберігається протягом декількох тижнів. При цьому гарантований термін зберігання борошна, згідно з результатами досліджень, становить 4 тижні.

Проаналізовано основні вимоги охорони праці при роботі з установками, що містять генератори інфрачервоного випромінювання. Встановлено, що випадку теплового опромінення в межах $150-350$ Вт/м² рекомендується збільшити швидкість руху повітря на $0,2$ м/с вище нормованих значень.

Відповідно до плану проведення дослідження було розраховано основні витрати на проведення дослідження та ціну дослідження. Загалом, з урахуванням 30% нормативної рентабельності вартість проведеного дослідження становить 6444,70 грн.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ГСТУ 46.004-99. Борошно пшеничне. Технічні умови. Київ, 1999. 13 с.
2. Мерко І. Т. Наукові основи і технологія переробки зерна / І. Т. Мерко, В. О. Моргун. Одеса : Друк, 2001. 348 с
3. Дудяк І.Д. Методичні рекомендації для вивчення дисципліни і виконання контрольної роботи з дисципліни «Технологія виробництва борошна, крупи і комбікорму» для здобувачів вищої освіти ступеня «Магістр» спеціальності 201 «Агрономія» заочної форми навчання. Миколаїв, 2021. 36 с.
4. Правила організації і ведення технологічного процесу на борошномельних заводах. К.: ВІПОЛ, 1998. 145 с.
5. Національний стандарт ISO 6820:2004. Борошно пшеничне та житнє. Загальні настанови щодо розроблення хлібопекарських випробувань (ISO 6820-1985, IDT) / Л... Гуленко (пер.і наук.-техн.ред.). - Офіц. вид - К. : Держспоживстандарт України, 2006. IV, 6с.
6. Grinding Characteristics of Wheat in Industrial Mills. [Електронний ресурс]. – URL: <http://dx.doi.org/10.5772/53160>
7. Батуріна А. П., Ємченко І.В. Експертиза товарів: навч. посібн. Для студ. вищ. навч. закл. К.: Центр навчальної літератури, 2004. 320 с.
8. Домарецький В. А. Технологія харчових продуктів: підруч. Київ: НУХТ, 2003. 768 с.
9. Дробот В. І. Технологія хлібопекарського виробництва. К.: Логос, 2002. 365 с.
10. Столярчук В. М. Вплив гарбузового борошна на хлібопекарські властивості пшеничного //Східно-Європейський журнал передових технологій. 2010. Т. 5. №. 6 (47). С. 66-68.
11. Кочубей О. В. Загальна технологія харчових виробництв та технологія галузі. К.: НУХТ, 2007. 170 с.
12. Назаренко В. О., Юдічева О. П., Жук В. А. Формування якості товарів. Частина 1. Навчальний посібник. К.: Центр учбової літератури, 2012. – 386 с.

13. Основи фізіології харчування: підручник / Н. В. Дуденко, Л.Ф. Павлоцька, В. С. Артеменко, М. В. Кривонос, І. С. Кратенко. Х.: Торнадо, 2003. 407 с.
14. Технологія борошняних кондитерських і хлібобулочних виробів: Навч. Посібник / Г. М. Лисюк, О. В. Самохвалова, З. І. Кучерук та ін.; за ред. Г. М. Лисюк. Харків :ХДУХТ, 2008. 412 с.
15. Ярошевич Т. С. Сучасні методи діагностування картопляної хвороби хліба та засоби запобігання її розповсюдженню //Вісник Хмельницького національного університету. 2011. С. 121-124.
16. Інструкція щодо попередження картопляної хвороби хліба / Міністерство аграрної політики України, Державна акціонерна компанія «Хліб України». К., 2003. 23 с.
17. Гуляєв В. М. і ін. Мікробіологічні дослідження якісних характеристик хліба //Збірник наукових праць Дніпродзержинського державного технічного університету. Технічні науки. 2014. №. 1. С. 259-264.
18. Новіков Г.В. Обґрунтування конструкції електротехнічного комплексу передпосівної обробки зернових з використанням електроаерозолів / Г.В. Новіков, В. Т. Діордієв // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки. "Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України". – Харків: ХНТУСГ, 2015. Вип. 165 С. 89-90.
19. Діордієв В.Т. Автоматизація електротехнологічного комплексу аерозольної обробки зерна/ В. Т. Діордієв, Г. В. Новіков // Енергетика та 127 комп'ютерно -інтегровані технології в АПК. Харків: ХНТУСГ ім. П. Василенка, 2016. №2 (5). С. 58-61.
20. Чміль А. І., Лазарюк К. О. Методи передпосівної обробки насіння кукурудзи в електромагнітному полі //Енергетика і автоматика. 2015. №. 4. С. 227-234.
21. Kundenko M., Rudenko A. Аналіз існуючих методів обробки зернового матеріалу від комірних шкідників //Енергетика і автоматика. 2021. №. 6. С. 75-87.

22. Семенов А.О. Вплив УФ-опромінення на посівні якості насіння пшениці озимої //Актуальні питання землеробства і агрохімії: історія. 2019. С. 124.

23. Анісімова Л. Гідротермічна обробка зерна поліпшує якість ячмінного помелу //Зерно і хліб. 2013. №. 4. С. 80-81.

24. Борушак В.В. Розробка автоматизованої системи контролю якості борошна // VIII всеукраїнська студентська науково - технічна конференція "Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання", Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. Тернопіль: ТНТУ, 2015. с. 330.

25. Коваленко О., Федюшко Ю.М. Сушіння зерна інфрачервоним випромінюванням //Всеукраїнської науково-технічної Інтернет-конференції студентів та магістрантів за підсумками наукових досліджень 2013 року «Проблеми механізації та електрифікації АПК». С. 102.

26. Бандура В. М., Кірієнко О. О. Розвиток інфрачервоної техніки для обробки зерна //Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2015. №. 3. С. 53-57.

27. Полевода Ю. А., Ревва В. Ю., Твердохліб І. В. Особливості процесу мікронізації зерна //Вібрації в техніці та технологіях. 2023.№ 1 (108). С. 94-100. DOI: 10.37128/2306-8744-2022-1-9.

28. Бандура В. М. Обґрунтування ІЧ-обробки насіння соняшника перед його обрушуванням //Наукові праці ОНАХТ. 2015. Вип. 47, Т. 2. С. 131-133.

29. Солоня О. В. Стан і перспективи теплової і механічної переробки зернової сировини на корм //Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2016. № 3 (95). С. 139-142.

30. Квач Я. П., Кошельок Г. В. Сучасний стан і перспективи розвитку борошномельної галузі України / Я. П. Квач, Г. В. Кошельок // Економіка харчової промисловості. 2015. № 2 (26). С. 76-83.

31. Купченко А. В. Моделювання процесу ІЧ-обробки насіння соняшнику в стаціонарному шарі при композиційному плануванні експерименту / А. В.

Купченко, К. О. Мельников, Ю. О. Чурсінов // Науковий вісник Полтавського університету економіки і торгівлі. Серія : Технічні науки. 2010. № 1. С. 142-147.

32. Калініченко Р. А. Моделювання динаміки нагріву зернівки інфрачервоним випромінюванням в рухомому шарі //Науковий журнал «Інженерія природокористування». 2016. №. 1 (5). С. 87-92.

33. Охорона праці та цивільний захист / О.Г. Левченко, О.І. Полукаров, В.В. Зацарний та ін. // За ред. О.Г. Левченка. К.: Основа, 2019. 472 с.

34. Розділ з охорони праці в дипломних роботах: Рекомендації до виконання: навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра спеціальностей 132 «Матеріалознавство» та 136 «Металургія» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: О. Г. Левченко, Г. В. Демчук. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 17 с.

35. СанПіН 2.2.4.548–96 «Гігієнічні вимоги до мікроклімату виробничих приміщень».

36. Павленко О.С. Методичні рекомендації до виконання розділу «Організаційно-економічна частина» дипломної роботи для здобувачів вищої освіти за освітньо-професійною програмою «Харчові технології» зі спеціальності 181 «Харчові технології» денної та заочної форми навчання. Дніпро: ДДАЕУ. 2020. 40 с.