

**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:

**Вплив надвисокочастотного випромінювання на
властивості зерна пшениці**

Виконала: здобувачка вищої освіти 4 курсу,
групи ХТ-2-21
освітньо-професійної програми «Харчові технології»
зі спеціальності 181 «Харчові технології»

_____ Дарина САБАДАШ

Керівник: _____ Дмитро ТИМЧАК

Рецензент: _____

Дніпро 2025

**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

Завідувач кафедри

харчових технологій,

кандидат технічних наук, доцент

Віталій КОШУЛЬКО

(підпис)

«07» травня 2025 р.

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

Сабадаш Дарині Віталіївні

1. Тема роботи: «Вплив надвисокочастотного випромінювання на властивості зерна пшениці».

Керівник роботи: Тимчак Дмитро Олександрович, старший викладач, затверджені наказом закладу вищої освіти від «07» травня 2025 року № 963.

2. Строк подання здобувачем вищої освіти роботи 09 червня 2025 року.

3. Вихідні дані до роботи: 1. Технологія зберігання та обробки зерна злакових культур. 2. Наукова, нормативна, технологічна, технічна та патентна документація.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити). Вступ. 1 Аналітичний огляд. 2 Методика дослідження НВЧ-обробки зерна пшениці. 3 Експериментальна частина. 4 Охорона праці та безпека життєдіяльності в надзвичайних ситуаціях. 5 Організаційно-економічна частина. Загальні висновки. Бібліографія.

5. Перелік демонстраційного матеріалу

1 Мета і завдання досліджень. 2 Забезпечення дослідження НВЧ-обробки зерна.
3 Обговорення результатів досліджень. 4 Кошторис витрат на проведення досліджень. 5 Загальні висновки.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1-5	ст. викладач Дмитро ТИМЧАК	07.05.25	09.06.25

7. Дата видачі завдання 07 травня 2025 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	07.05-08.05.25	виконано
2	Аналітичний огляд	09.05-14.05.25	виконано
3	Методика дослідження НВЧ-обробки зерна пшениці	15.05-16.05.25	виконано
4	Експериментальна частина	17.05-31.05.25	виконано
5	Охорона праці та безпека життєдіяльності в надзвичайних ситуаціях	01.06-02.06.25	виконано
6	Організаційно-економічна частина	02.06-03.06.25	виконано
7	Формулювання висновків по роботі та списку використаних джерел	04.06-05.06.25	виконано
8	Підготовка демонстраційного матеріалу	06.06-09.06.25	виконано

Здобувачка вищої освіти _____ Дарина САБАДАШ
(підпис)

Керівник роботи _____ Дмитро ТИМЧАК
(підпис)

РЕФЕРАТ

Тема: «Вплив надвисокочастотного випромінювання на властивості зерна пшениці»

Кваліфікаційна робота бакалавра: 65 с., 7 рис., 9 табл., 44 літературних джерел.

Об'єкт дослідження: технологія знезараження зерна шляхом НВЧ-обробки.

Метою роботи є обґрунтування системи знезараження зерна шляхом обробки в електромагнітному полі надвисокої частоти, що забезпечує екологічну безпеку та високу якість готової продукції.

Методи дослідження: в роботі оцінювалися такі показники якості за стандартними методиками:

- 1) фізико-хімічні (кількість та якість клейковини, число падіння, титрована кислотність);
- 2) мікробіологічні (зараженість грибами р. *Fusarium*, *Penicillium*, *Aspergillus*).

В роботі проведено аналіз мікрофлори зерна та шкідливість патогенного комплексу, дано оцінку сучасним методам знезараження зерна. Доведено можливість використання надвисокочастотної обробки для проведення знезараження зерна пшениці. Встановлено позитивний вплив НВЧ-обробки при боротьбі з хворобами зерна пшениці, збудниками яких є гриби р. *Fusarium*, *Penicillium*, *Aspergillus*. Визначено рекомендовані режими НВЧ-обробки для досягнення найбільш позитивного результату знезараження зерна пшениці. Досліджено вплив НВЧ-обробки на стан білкового та вуглеводного комплексу зерна пшениці, а також на титровану кислотність проби, отриманого із даного зерна.

КЛЮЧОВІ СЛОВА

Зерно пшениці; надвисокочастотна обробка; НВЧ; знезараження; плісняві гриби; клейковина.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД	7
1.1 Аналіз мікрофлори зерна та шкідливість патогенного комплексу	7
1.2 Вплив факторів зберігання зерна на його якість	14
1.3 Методи знезараження зерна	18
1.4 Мета і завдання дослідження	28
2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ НВЧ-ОБРОБКИ ЗЕРНА ПШЕНИЦІ	30
2.1 Обґрунтування вихідних параметрів НВЧ-обробки зерна пшениці	30
2.2 Методики проведення мікробіологічних та фізико-хімічних досліджень	32
3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА	35
3.1 Вплив НВЧ-випромінювання на зараженість зерна пшениці	35
3.2 Вплив НВЧ-випромінювання на білковий та вуглеводний комплекс зерна пшениці	41
3.3 Вплив НВЧ-випромінювання на кислотність зерна пшениці	45
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	49
4.1 Основні аспекти охорони праці при роботі з генераторами НВЧ-випромінювання	49
5 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	53
5.1 Розрахунок кошторису витрат на дослідження	53
5.2 Розрахунок ціни дослідження	57
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	59
БІБЛІОГРАФІЯ	61

ВСТУП

Основними напрямками екології людини та гігієни довкілля є формування науково обґрунтованих підходів до об'єктивного оцінювання стану навколишнього середовища, якості харчових продуктів, методів їх виготовлення, а також рівня здоров'я населення. Не менш важливим завданням є впровадження інноваційних екологічно безпечних технологій у харчову промисловість та забезпечення виробництва продуктів, придатних для споживання без шкоди для здоров'я.

Розробка технологічних рішень повинно ґрунтуватися на системному підході, що передбачає врахування тенденцій розвитку аграрного сектору й харчової промисловості, а також реальні можливості практичного впровадження розроблених методів. Модернізація обладнання переробної промисловості орієнтована на оптимізацію технологічних процесів, інтеграцію принципів екологічності, енергоефективності, продуктивності та зменшення антропогенного навантаження.

Якість зерна, борошна й хліба є ключовими чинниками, що визначають рівень забезпечення населення базовими харчовими продуктами, а також впливають на загальну економічну ситуацію в країні, включно з її стабільністю в соціально-політичному контексті. Досягнення високої поживної цінності кінцевої продукції можливе завдяки цілеспрямованій зміні технологічних та фізико-хімічних властивостей сировини шляхом регулювання параметрів переробки та зберігання.

Для багатьох регіонів України провідну роль у забезпеченні зернового балансу відіграє яра пшениця. Вона має значний потенціал для формування зерна високої якості, з оптимальним вмістом білка й клейковини, особливо в умовах степових і лісостепових регіонів, зокрема Полісся, що повністю відповідає вимогам хлібопекарської галузі.

Одним із ключових етапів у ланцюгу заходів, спрямованих на створення нових високоякісних харчових продуктів, є належна підготовка сировини, яка використовується у технологічних процесах. Зниження якісних характеристик

зерна, погіршення його технологічних властивостей, втрата сухої речовини та контамінація токсичними і канцерогенними метаболітами мікроскопічних грибів – мікотоксинами – є наслідком ураження зернової маси мікроорганізмами грибкового і бактеріального походження.

З огляду на зростання обсягів надходження на елеватори зараженої інфекцією пшениці, нагальною стає потреба в її ефективному знезараженні до початку подальших етапів зберігання або переробки.

Особливу складність у боротьбі з патогенами пшениці становить наявність серед них спороутворювальних форм, стійких до дії високих температур. У зв'язку з цим знезараження зерна потребує попереднього зволоження, що активізує проростання спор, після чого теплове оброблення стає ефективнішим. Термальне втручання призводить до денатурації білкових структур, що, в свою чергу, спричиняє загибель збудників інфекцій.

Інфікування пшениці патогенними мікроорганізмами відбувається щороку в тій чи іншій мірі. Хоча інтенсивність ураження залежить від низки ґрунтово-кліматичних і антропогенних чинників, втрата врожаю в середньому сягає 15–20%, а в окремих випадках може доходити до 50%, що супроводжується суттєвим зниженням технологічної та хлібопекарської якості зерна.

Особливості знезараження продовольчого зерна вимагають перегляду основних підходів. У даному випадку застосування хімічних речовин, отриманих шляхом органічного синтезу, хоча вони й характеризуються високою токсичністю щодо патогенної мікрофлори, тривалою дією, універсальністю, вибірковістю та високим ступенем ефективності, є обмеженим. Причиною цього є ймовірність залишкової присутності пестицидів, що становить потенційну загрозу для безпеки споживачів.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

1.1 Аналіз мікрофлори зерна та шкідливість патогенного комплексу

У процесі реформування аграрного сектору багато деструктивних явищ, які виникли на його початкових етапах і спричинили зниження обсягів виробництва, досі зберігаються. Втрата державного регулювання цін, інфляційні процеси, скорочення фінансування державних програм, низька конкурентоспроможність вітчизняної сільськогосподарської продукції на міжнародному ринку та інші чинники сприяли загостренню негативних тенденцій у розвитку аграрного виробництва.

Погіршення рівня землеробської культури, вирощування монокультур у фермерських господарствах, недотримання агротехнічних норм, а також вилучення з виробничого циклу багатьох кормових і технічних культур, що традиційно вирощувались раніше, істотно звузили можливості для здійснення комплексу організаційних, господарських, агротехнічних та фітосанітарних профілактичних заходів.

«Істотно зменшилися обсяги виробництва вітчизняних засобів захисту рослин: з 215 тис. тонн у 1985 році до лише 19 тис. тонн у 1996 році, після чого спостерігалось подальше скорочення» [1]. На тлі традиційних хвороб зернових культур (летюча сажка, кореневі гнилі, іржа, борошниста роса) спостерігається зростання масштабів ураження фузаріозом колосу, септоріозом, бактеріозами, жовтою і бурою іржею пшениці. «У сприятливі для розвитку інфекцій роки втрати врожаю можуть сягати до 50%» [2].

Додатковим фактором ризику є широке впровадження сортів з обмеженою генетичною мінливістю, які мають низьку стійкість до шкідливих організмів.

Більшість збудників хвороб зернових культур зберігають тенденцію до активного накопичення інокулюму, поширення та інтенсивного розвитку. Особливо небезпечною є група захворювань, які передаються насінням з року в рік. «Саме ці патогени істотно знижують якість і збереження як продовольчого зерна,

так і продуктів його переробки, а також погіршують посівні властивості насіннєвого матеріалу» [3].

Шкідливість хвороб, викликаних грибами, бактеріями чи вірусами, проявляється залежно від ступеня вірулентності збудника, чутливості рослини-господаря та впливу зовнішніх факторів. «Найбільшу загрозу становлять фітопатогенні гриби, які спричиняють мікози, а також продукують токсичні метаболіти – мікотоксини, що є продуктами їх життєдіяльності» [1].

Склад грибної мікрофлори наразі детально вивчений, і встановлено, що кожен вид культурної рослини здатен уражатися десятками різних патогенів. Їхня дія призводить до зниження кількісних і якісних характеристик зерна, яке втрачає масу, стає щуплим, змінює забарвлення, темніє зародок, а сама зернівка частково руйнується.

Деякі збудники паразитують на рослинах у період вегетації, інші – активізуються під час зберігання, а треті – переходять разом із зерном у місця зберігання, де продовжують розвиватися й уражати як насіннєве, так і продовольче зерно. Шляхи проникнення інфекції в насіння відрізняються залежно від виду збудника: одні проникають через репродуктивні органи й оселяються в оболонках у вигляді міцелію, інші – проникають глибше, у зародок або ендосперм. У першому випадку маємо справу з поверхневою інфекцією, у другому – з глибинною.

Рівень шкідливості збудників захворювань варіюється і визначається впливом супутніх чинників. У регіонах вирощування ярих зернових культур найчастіше домінують кореневі гнилі, зокрема фузаріозна та звичайна, викликані недосконалими грибами *Bipolaris sorokiniana* і представниками роду *Fusarium*. «У роки з дефіцитом вологи або при різких її коливаннях у ґрунті ці захворювання можуть знижувати врожайність на 10-35%, а за задовільного зволоження – на 5-15%» [4].

Сорти твердої ярої пшениці, як правило, зазнають більших втрат урожаю, ніж м'які, що пов'язано з особливостями їх морфологічної та фізіологічної будови. «У середньому, коренева гнилизна ярої пшениці викликає зменшення врожаю на 1,1–1,5% за кожен відсоток поширення хвороби понад пороговий рівень, який

визначається як ураження 5% рослин на початку вегетації та розвиток хвороби до 10–15% перед збиранням» [5-7].

Уражене зерно характеризується зниженим вмістом білка, погіршенням кількісних та якісних показників клейковини, а також втратою ферментативної активності. «Фузаріозна коренева гнилизна сприяє підвищенню кількості щуплого, неповноцінного зерна до 30% і більше. Якщо ж фузаріоз розвивається у фазу колосіння або цвітіння, коли гриб проникає в зародок, в колосі може формуватися до 80% токсичних, непридатних до використання зернин – як для харчових, так і для кормових потреб» [8, 9].

Згідно з дослідженнями вчених, фузаріоз колоса призводить до значного зниження маси зерна – показник натури зменшується на 30-40 грамів. Вченими встановлено «чітку залежність ступеня щуплості зерна від рівня ураження фузаріозною інфекцією: при зараженні 31,2% колосків маса 1000 зерен становила лише 15,5 г, тоді як при 2% ураженні – 38,8 г» [10]. «У низці регіонів фузаріозне ураження колоса призводить до зниження маси 1000 зернин на понад 20%, а схожість насіння зменшується до 35%» [5].

Звичайна гнилизна зернових культур проявляється через гnilі коренів, нижнього міжвузля, бурі плями на листі та чорний зародок зерна. Збудниками цієї хвороби є комплекс патогенів. У районах півночі переважають види роду *Fusarium*, тоді як у степових зонах домінує *Bipolaris sorokiniana*, а в лісостепу їх співвідношення складає 50:50. У роки, коли після вологого весняного періоду настає літня посуха (в Поліссі це трапляється в середньому 7 з 10 років), захворювання особливо шкідливе: «втрати врожаю пшениці можуть становити від 9 до 22%, а максимальні втрати досягають 35–40%. Основним фактором, що сприяє розвитку епіфітотій, є високий потенціал ґрунтової інфекції збудника» [11].

Кількість полів з високою інфікованістю сягає нині від 60 до 70%. У значній мірі сприяє виникненню епіфітного розвитку звичайної кореневої гnilі щорічна передача збудників через насіннєвий матеріал, а також слабка стійкість та витривалість до інфекції районованих сортів пшениці [12, 13].

За даними вчених [10], в північному сільськогосподарському регіоні звичайна коренева гниль теж є найпоширенішим і шкідливим захворюванням ярої пшениці. Поширення хвороби до фази воскової стиглості пшениці сягає 95,7%, розвиток – 41,0%. Основним збудником повсюдно є *B. sorokiniana*, тоді як гриби р. *Fusarium* мають менше значення і є супутніми. Однак їх співвідношення, згідно з результатами досліджень, може змінюватися: у фазі кушіння має *B. sorokiniana*, до кінця вегетації зростає частка *Fusarium*, а до 50% уражених органів містять змішану інфекцію.

«Втрати врожаю пшениці особливо високі, коли вона є другою культурою в сівозміні, досягаючи максимуму 42,6%. Якщо пшениця розміщується після пару або кукурудзи, втрати врожаю зменшуються до 6,7–12,0% відповідно» [14].

Зниження зернової продуктивності ярої пшениці варіюється в залежності від того, скільки органів рослини вражено звичайною гниллю.

Шкідливість звичайної кореневої гнилі не обмежується лише зниженням врожаю, але й веде до погіршення якості отриманої продукції. Багато дослідників зазначають погіршення фізико-хімічних показників, таких як вміст протеїну, клейковини, сили борошна, об'єму хліба і загальної хлібопекарської оцінки борошна.

Таблиця 1.1 – Вплив звичайної гнилі кількість клейковини, %

Зона, рік	Сорт	Вміст клейковини, %, у рослин	
		здорових	хворих
Степ	Саратовська 29	34,3	33,7
Південний лісостеп	Саратовська 29	26,5	23,3
Північний лісостеп	Саратовська 29	36,0	35,3

Отже, звичайна коренева гнилизна протягом десятиліть залишається одним із найшкідливіших захворювань для ярої пшениці та ячменю, що значно знижує врожай цих культур і погіршує якість продукції. «Для збереження якості зерна необхідно розробити тактику захисту від цієї хвороби, яка забезпечить, щоб протягом всіх етапів органогенезу індекс розвитку на органах пшениці не перевищував 5-12%, а на ячмені – 4-8%, залежно від сприятливості чи несприятливості для розвитку патогенів в конкретному році» [15].

«Гриби роду *Alternaria*, які широко поширені в природі, є представниками класу недосконалих грибів. Для видів цього роду характерні пофарбовані міцелії, конідіоносці та конідії, колір яких варіюється від темно-оливкового до чорного» [16].

Сапрофітні види роду *Alternaria* піддаються сильному впливу умов навколишнього середовища і можуть швидко збільшувати свій інфекційний потенціал на зерні або, навпаки, значно знижувати його при зміні умов зберігання зерна.

Паразитичні види здатні заражати лише ослаблені органи рослин, проникаючи через пори, продири або механічні пошкодження. Збудник заселяє насіння ще до збирання рослин, і зараження відбувається з моменту цвітіння до молочної стиглості ярої пшениці або інших зернових культур. «Конідії проростають у зерні, а міцелій, як правило, має ендогенний характер, зосереджуючись в плодовій оболонці, іноді проникаючи неглибоко в ендосперм зернівки або поверхневі клітини зародкових органів» [15].

Шкідливість збудників роду *Alternaria* посилюється через їхній аерогенний спосіб поширення спор, які переносяться вітром на великі відстані та завжди присутні в повітрі.

«Альтернаріози зернових культур зустрічаються повсюдно, міцелій цього збудника присутній більшою чи меншою мірою практично у всіх партіях насіннєвого та продовольчого зерна, викликаючи чорний зародок» [17].

Думки вчених щодо шкідливості альтернаріозів суперечливі. Більшість вважають, що за відсутності збудників у ґрунті заражене насіння не становлять

загрози врожаю, більше того, заражене насіння іноді навіть має вищу масу 1 000 насіння. Це, можливо, пояснюється вибірковістю збудників, які заражають, як правило, перші два зерна в колоску, які завжди є найбільшими і містять -більше вологи. Лабораторна схожість зараженого насіння, в тому числі і за результатами наших досліджень, не відрізняється від здорових. «Однак у низці областей відзначалися в окремі роки щуплість насіння, зниження схожості зерна і відставання у розвитку кореневої системи у альтернаріозних рослин» [18, 19].

Зазвичай, «післязбиральна обробка зерна та різні прийоми теплової обробки дозволяють знизити зараженість альтернаріозом і у зв'язку з цим найбільш ефективним є використання НВЧ-енергії для знезараження насіння та продовольчого зерна» [10].

Істотний вплив на врожайність ярої пшениці та її якість надають, листостебельні (повітряно-крапельні) інфекції – іржа (бура, стеблова), септоріоз та борошниста роса хлібних злаків.

Специфіка шкідливості листостеблових інфекцій – щупле, легке за масою зерно, вага якого навіть за середнього ступеня розвитку знижується на 20-35 %. У літературі також є відомості про негативний вплив хвороб листка на силу борошна та смакові якості хліба.

«Для продуктів переробки зерна пшениці, головним чином для хліба, шкідливі збудники бактеріозів – бактерії *Bacillus mesentericus vulgatus* Flugge та *Bacillus subtilis* та інші види цього роду» [11].

Збудники грибної та бактеріальної етіології мають широке поширення і високу шкідливість, що, поряд зі зниженням урожайності, проявляється в інфікуванні продовольчого зерна пшениці. «Це призводить до втрати його технологічних і хлібопекарських якостей. Збудники, що заселяють зерно, здатні продукувати мікотоксини, які становлять серйозну загрозу для здоров'я людини і тварин» [17].

З екологічної точки зору мікроорганізми, що заражають зерно під час його формування і дозрівання або коли рослини довгий час залишаються в полі неприбраними на корені або в валках, відносяться до групи польових інфекцій. Це

також визначає необхідність розробки відповідних умов зберігання та шляхів раціонального використання зерна залежно від ступеня зараження та його стану перед засипанням.

Друга група інфекцій, що впливає на зерно під час зберігання, включає плісняви зберігання. До цієї групи належать види родів *Penicillium*, *Aspergillus*, *Mucor*, *Rhizopus* та інші. В полі ці збудники розвиваються рідко і лише в екстремальних умовах вологості повітря, що виникають при дозріванні та збиранні врожаю. «У складі епіфітної мікрофлори зерна представники цієї групи займають від 2 до 5%» [12].

Плісняві гриби, розвиваючись на зерні, що зберігається, пригнічують і витісняють польові гриби, що є причиною псування зерна. «Їхня шкідливість при середньому та сильному ступені заселення може досягати 30-60%, а особливо вона посилюється на травмованому під час збирання та підготовки зерні. Основний збиток, який завдають плісняві гриби, полягає в порушенні режимів зберігання насіннєвого матеріалу та продовольчого зерна, коли вологість зерна перевищує 14%, а відносна вологість повітря – 70%» [19].

Якщо зерно було зібрано за сприятливих умов і під час його зберігання дотримуються оптимальних параметрів температури та вологості, то на його поверхні зазвичай буде присутня незначна кількість цвілевих грибів і бактерій, що утворюють спори. Основними інфекціями в такому випадку є збудники польової мікрофлори.

У разі порушення умов зберігання, склад мікрофлори зерна різко змінюється. Кількість бактерій і деяких збудників грибної етіології зменшується, а звільнену нішу займають плісняви, зокрема *Penicillium* та *Aspergillus*, а також інші представники цієї групи. «Навіть незначне підвищення вологості зерна (на 1-2% вище критичної) може спричинити активний розвиток пліснявих грибів. Це також підтримується в широкому діапазоні температур (від 10 до 40°C), що не перешкоджає їхньому росту. Оптимальна температура для життєдіяльності цих грибів в зерні становить від 22 до 35°C» [5].

Небезпека виникає, коли вологість зерна підвищується, а температура залишається в межах вище критичної, але не досягає оптимуму. Це спричиняє повільне наростання інфекції, що супроводжується впровадженням мікрофлори в тканини зерна. «Якщо ці умови тривають більше 10-15 днів, насіннєве зерно втрачає свої посівні якості, а продовольче зерно стає токсичним. Зокрема, вміст клейковини знижується на 28-52%, а її якість зазнає суттєвих змін» [11].

1.2 Вплив факторів зберігання зерна на його якість

Зберігання зерна розпочинається одразу після його дозрівання, незалежно від місця та умов його знаходження. Тривале збереження життєздатності зерна можливе лише за дотримання умов, які забезпечують захист від високої температури, надмірної вологості та надлишку кисню.

«Належний рівень збереженості гарантується для зрілого зерна, зібраного у фазі повної стиглості, яке має добре сформовану зернівку, характерну для сорту за розміром, формою і зовнішнім виглядом, без механічних пошкоджень, не проросле, чисто відкаліброване, не підмерзле та не уражене патогенною мікрофлорою» [20].

Продовольче зерно, як і насіннєве, повинно зберігати життєздатність протягом усього періоду зберігання, оскільки лише за цієї умови воно не втрачає своїх технологічних властивостей.

Отже, знання щодо тривалості життя зерна та механізмів її регуляції має важливе значення як для теоретичних досліджень, так і для практичного застосування.

Зерно, що зберігається за сприятливих умов, проходить три періоди, які відрізняються за рівнем фізіологічної активності, притаманної насінню впродовж зберігання:

«Перший період – характеризується повільним зниженням життєвих функцій зерна. На цьому етапі життєздатність поступово зменшується, але залишається на високому рівні (90–75%).

Другий період – відзначається різким прискоренням загибелі насіння. Коли кількість життєздатних зерен зменшується до 25–10%, темп втрати життєвості знову сповільнюється» [21].

«Третій період – завершується повною втратою життєздатності, причому процес загасання фізіологічної активності відбувається вже дуже повільно» [21].

Відповідно до цього виділяють три типи довголіття зерна:

Господарське довголіття – період, протягом якого зерно зберігає посівні або технологічні якості, що задовольняють потреби виробництва.

«Генетичне довголіття – термін збереження спадкової інформації у життєздатному стані» [21].

Біологічне довголіття – максимальна тривалість існування насіння до повної втрати життєвості.

Для практичних потреб найбільш вагомим є господарське довголіття зерна – саме воно визначає максимальний період зберігання, протягом якого насіння зберігає посівні та технологічні якості, необхідні для сільськогосподарського або промислового використання. У свою чергу, біологічне довголіття суттєво перевищує господарське, однак у виробничій практиці воно має менше значення.

Тривалість життя насіння залежить не лише від виду рослини, а й від умов вирощування і зберігання. Серед зернових:

- «ячмінь і овес демонструють найкращі показники життєздатності за однакових умов зберігання;
- жито зберігає життєздатність найгірше;
- кукурудза та пшениця займають проміжне положення між вказаними культурами» [22].

Тривале збереження життєздатності можливе тільки тоді, коли зерно перебуває в стані анабіозу (органічного спокою). Глибина анабіозу визначається співвідношенням форм зв'язаної і вільної води в зерні. Саме тому вміст і структура води є основними чинниками, які визначають ефективність зберігання. «Але при цьому вологість не можна оцінювати окремо від температури, оскільки між цими параметрами існує взаємозв'язок, що впливає на життєві процеси в насінні» [23].

Відомо, що вода в зернівці при низькому вмісті перебуває у зв'язаному стані, оскільки повністю утримується системою макромолекул. Зі збільшенням вологості в зерні з'являється вільна вода, яка значно скорочує тривалість його зберігання, оскільки активізує метаболічні процеси. «Цей рівень вологості називають критичним, і він є різним для насіння різних видів рослин. Для пшениці та жита критична вологість становить 14,5–15,5%» [22].

Зерно з вологістю нижче цього рівня добре зберігається навіть у високих настипах, оскільки інтенсивність дихання у ньому дуже низька. «Зерно середньої вологості дихає у 2–4 рази активніше за сухе, вологе – у 4–8 разів, а сире – у 20–30 разів і більше» [24].

«Зерно з вологістю понад 30% при вільному доступі повітря і температурі вище 10 °C за добу може втрачати до 0,2% сухої речовини» [22]. Зниження температури, як і вологості, суттєво пригнічує біологічні процеси в зерновій масі, зменшує активність мікроорганізмів і таким чином підвищує стійкість зерна до псування, сприяючи збереженню його життєздатності.

Охолодження до негативних температур від -10 до -15 °C (друга ступінь охолодження) не становить прямої небезпеки, оскільки пов'язана волога, що знаходиться в зерні, не переходить у кристалічний стан. Небезпека в цьому випадку може становити лише перепади температур у насипі. Такий спосіб використовується при зберіганні вологого зерна, головним чином як – тимчасова консервація його перед сушінням, а у разі сухого – як спосіб продовження довговічності.

Зневоднення зерна, як і підвищення вологості, те ж корисне до певної межі.

Що стосується впливу температурного режиму на зберігання насіння, то спеціальні дослідження показали: кожне зниження температури на 5 °C приблизно вдвічі подовжує тривалість життя насіння. При цьому мова не йде про негативні температури, які вже були розглянуті раніше. «Найбільш прийнятною температурою для зберігання на сьогодні вважається 4 °C. Водночас у рамках національних програм з вивчення довготривалого зберігання проводяться дослідження впливу як позитивних, так і від'ємних температур» [25].

Підтримання постійної вологості зерна під час зберігання є складним завданням, адже з часом, у результаті дихання самого зерна та супутніх мікроорганізмів, змінюється склад повітря в сховищі. Встановлено, що «шкідливий вплив кисню найяскравіше проявляється при низьких парціальних тисках. При зростанні концентрації кисню в повітрі від 0 до 21% життєздатність зерна поступово знижується, тоді як подальше підвищення концентрації не чинить помітного впливу на цей показник» [22, 26-28].

У практиці зберігання зерна виникає необхідність цілеспрямованого впливу на процес післязбирального дозрівання. Основними регуляторами цього процесу є вологість, температура, ступінь аерації зернової маси та інші чинники. Наприклад, у свіжозібраному зерні з підвищеною вологістю при позитивних температурах різко зростає фізіологічна активність. «Зернова маса, що зберігається, складається приблизно на 60% із самого зерна та на 40% – з повітря, яке знаходиться між зернами» [26].

Оскільки теплопровідність зерна є низькою, за відсутності вентиляції в окремих ділянках насипу виникає локальне підвищення температури. «У таких умовах починається процес самозігрівання, у вогнищах якого температура може досягати 70–75 °С. Це тепло передається на прилеглі ділянки насипу, поступово охоплюючи все більшу частину зернової маси» [26].

З огляду на вплив різних типів дихання на збереження зерна, перевага надається анаеробному типу, оскільки за нестачі кисню тепловиділення мінімальне, а вільна волога майже не утворюється. Проте такий режим є малопридатним для насінневого матеріалу, оскільки пригнічує життєдіяльність, що негативно позначається на схожості.

Таким чином, «дихання з одного боку є необхідним для підтримання життєздатності зерна, а з іншого – призводить до втрат сухої речовини, зростання вологості, нагрівання та накопичення вуглекислого газу в міжзерновому просторі. З погляду споживача, ці наслідки є небажаними, оскільки створюють труднощі в забезпеченні якісного зберігання продовольчого та насінневого зерна» [28].

Щоб дихання відбувалося з мінімальними втратами поживних речовин, необхідно регулювати його інтенсивність. Відомо, що її зниження дозволяє зменшити втрати та зберегти якість зерна. «На інтенсивність дихання, крім вологості, температури та доступу повітря, також впливають ступінь зрілості зерна, умови збирання і транспортування, крупність, пошкодженість і ботанічні особливості. Зазначені фактори мають різний рівень значущості, причому найбільший вплив здійснюють вологість, температура і аерація» [29].

Поширене уявлення, що зі збільшенням вологості інтенсивність дихання завжди зростає, не є однозначним і не повністю враховує складний характер взаємодії зерна з вологою.

1.3 Методи знезараження зерна

У зв'язку з відсутністю екологічно безпечних методів вирощування сільськогосподарських культур, впливом несприятливих чинників навколишнього середовища, а також неправильними умовами зберігання і транспортування, значна частина зерна надходить на елеватори та борошномельні підприємства вже із мікробним забрудненням. «У такій ситуації перед зернопереробною галуззю постає завдання виробництва високоякісних і безпечних у санітарно-гігієнічному плані продуктів, що є ключовою умовою для успішного виходу на внутрішній та зовнішній ринки» [30].

У сучасних технологічних процесах обробки зерна застосовують хімічні (окислювачі, фуміганти), фізичні (термічні, променеві) та біологічні (мікробіологічні засоби, інактиватори мікотоксинів) методи, спрямовані на знищення або пригнічення патогенної мікрофлори (рис. 1.1).

Для цього використовують протигрибкові препарати (інгібітори розвитку грибків і плісняв), антитоксичні засоби – адсорбенти як мінерального, так і органічного походження, імуностимулятори (зокрема модифіковані дріжджі), здатні знижувати біодоступність мікотоксинів і стимулювати імунну відповідь. «Додатково застосовуються антиоксиданти, незамінні амінокислоти та інші

функціональні добавки, що підвищують якість і безпечність кінцевої продукції» [31].

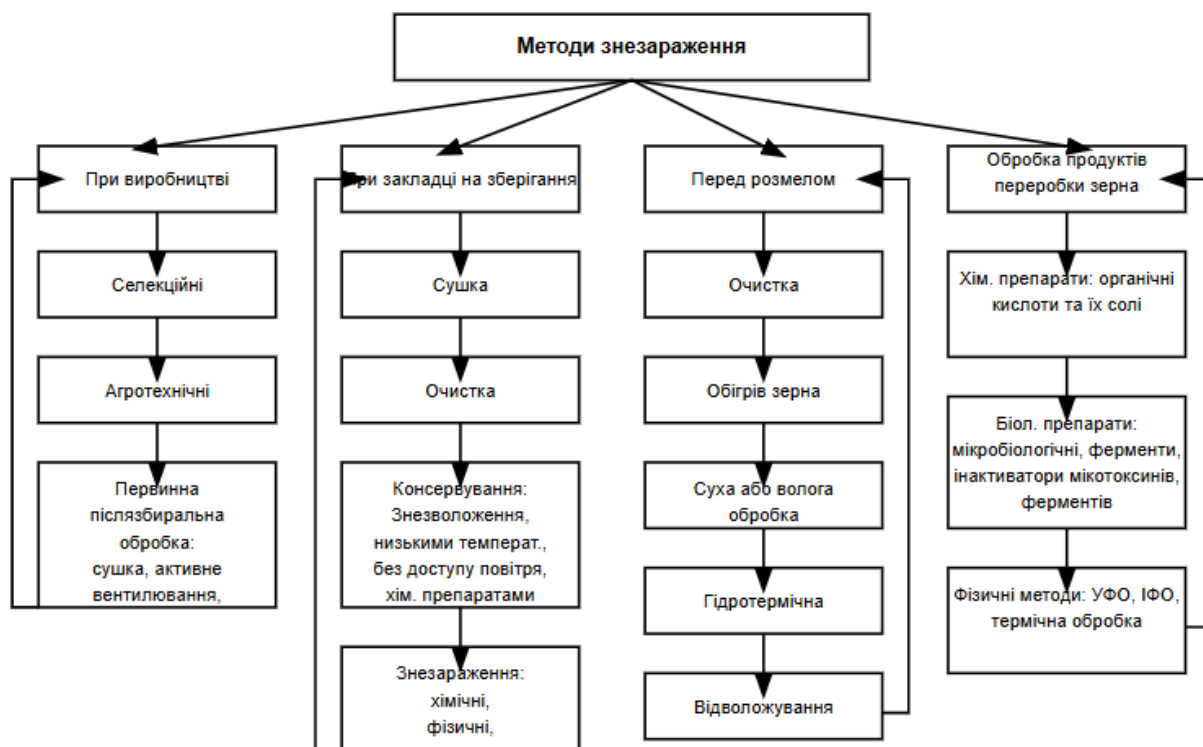


Рисунок 1.1 – Методи знезараження зерна та продуктів його переробки

Хімічні методи обробки зерна є економічно доцільними та ефективними у боротьбі з пліснявими грибами. Існує низка препаратів, застосування яких дозволяє запобігти розвитку пліснявих мікроорганізмів під час зберігання зерна.

«Післязбиральна обробка продовольчого зерна такими препаратами, як карбомідометацид та фогуцид, дає змогу суттєво подовжити строки його безпечного зберігання» [31]. Крім того, застосування цих засобів позитивно впливає на технологічні властивості зерна: знижує активність окислювально-відновних ферментів, покращує газоутримувальну та цукроутворювальну здатність борошна. «У результаті якість готової продукції, зокрема хліба, підвищується, а її стійкість до ураження збудниками картопляної хвороби значно зростає» [31].

Зерно також обробляють різними препаратами з протигрибною дією, такими як пропіонова, оцтова, аскорбінова та бензойна кислоти, генціанвіолет, ортофенілфенол, дифеніл, формальдегід, 8-хінолінол, фенілртуть-ацетат, зинеб, 5-

хлор-2-метилфеніл. Пропіонова кислота, яка має фунгістатичну дію, є летючою, тому після її висипання гриби можуть відновити свій розвиток. Однак, дослідження показали, що «пропіонова кислота у кількості 0,5-1% від маси корму (у перерахунку на 100% кислоту) здатна затримати розвиток грибів і підтримувати високу санітарну якість корму та зерна кукурудзи протягом шести місяців» [32].

Проте пропіонова кислота має кілька недоліків: вона має їдкий запах, роз'їдає металеві частини обладнання, і може використовуватись цвіллю *A. flavus* для власного росту, сприяючи синтезу афлатоксинів. Ефективність обробки пропіоновою кислотою зростає зі зменшенням величини частинок обробленого корму.

«При вологості зерна більше 16% і високій температурі органічні кислоти та інші протигрибні сполуки не можуть тривалий час ефективно пригнічувати активність ферментів без їх ушкодження. Вони є ефективними лише при температурі нижче 15°C» [32].

Обробка корму генціанвіолетом з розрахунку 10 г/т є економічно вигіднішою, ніж використання інших аналогічних препаратів і також демонструє високу ефективність..

У ряді європейських країн для виробництва борошна, яке призначене для експорту, використовують сильний окислювач – бромат калію. Бромат калію діє на тісто повільніше, ніж, наприклад, аскорбінова кислота, що полегшує технологічний процес. «Він впливає на клейковинний комплекс, повільно окислюючи глютен, що сприяє кращій толерантності під час бродіння і значному збільшенню обсягу виробів» [33].

Однак хімічні методи боротьби з картопляною хворобою хліба не є достатньо ефективними і можуть погіршувати смакові якості хліба. Застосування хімічних речовин небезпечно для здоров'я людини, тому важливо здійснювати суворий санітарно-епідемічний контроль над продукцією рослинництва. Окрім того, «хімічний метод не завжди дає очікуваний результат, оскільки навіть найменші відхилення від технології можуть призвести до значного зниження ефективності дії

препаратів» [32]. Деякі хвороби, такі як іржа та фузаріозні хвороби зернових культур, не можуть бути ефективно зупинені хімічними методами.

Мікотоксини, порівняно з бактеріальними токсинами, є низькомолекулярними сполуками, що надає їм стійкість до високих температур. «Вони не руйнуються при обробці кормів гарячою парою під час гранулювання, висушуванні, тривалому ультрафіолетовому опроміненні чи зберіганні» [34].

Характерною рисою багатьох мікотоксинів є висока стійкість до впливу кислотного та лужного середовища. Важливо зазначити, що низькомолекулярна структура цих токсинів унеможливорює формування антитіл в організмі тварин, через що вони залишаються вразливими до токсичної дії протягом усього життя. Ця біологічна особливість також ускладнює застосування традиційних серологічних діагностичних підходів.

Значний прорив у діагностиці стався лише після створення кон'югатів певних мікотоксинів (зокрема афлатоксинів В₁, М₁ та охратоксину А) з білками-носіями, що дозволило отримати специфічні антитіла. Саме впровадження сучасних методів – радіоімунного та імуноферментного аналізу – відкрило можливість виявляти ці токсичні речовини як у біологічних рідинах, так і в тканинах тварин.

У виробничих умовах аналіз кормів на забрудненість токсинами зазвичай здійснюється з використанням фізико-хімічних або біологічних методів дослідження. Варто підкреслити, що «токсичні метаболіти грибів здатні зберігатися в кормах упродовж тривалого часу після відмирання плісняви, тому зовнішні ознаки корму не є надійним індикатором його безпечності» [33].

За оцінками фахівців, понад чверть світового врожаю зернових культур містить мікотоксини. Особливе занепокоєння викликає здатність цих сполук проявляти канцерогенну та генотоксичну дію щодо організму тварин і людини.

Дослідження показали перспективність використання ферментативних методів для нейтралізації мікотоксинів. Зокрема, встановлено, що «ферменти класу естераз та епоксидаз здатні модифікувати структуру токсичних молекул шляхом відщеплення функціональних груп» [32]. Такі біохімічні перетворення призводять

до значного зниження токсичності сполук або повного усунення їхньої шкідливої дії.

Традиційне застосування адсорбентів на основі глиноподібних матеріалів (глинозему) для зв'язування мікотоксинів має певні обмеження та недоліки. Ці проблеми «активізували наукові розробки, спрямовані на створення інноваційних альтернативних інактиваторів мікотоксинів, які б ефективно працювали навіть при застосуванні в низьких концентраціях» [34].

Сучасні дослідження зосереджені на пошуку нових типів адсорбентів з високою селективністю дії та здатністю ефективно зв'язувати різні види мікотоксинів без негативного впливу на поживну цінність кормів чи засвоюваність поживних речовин організмом тварин.

Біологічні методи інактивації мікотоксинів у кормах. Численні дослідження, проведені в провідних наукових центрах, призвели до розробки ефективних біологічних інактиваторів мікотоксинів, здатних діяти в надзвичайно низьких концентраціях.

«На початку 1990-х років науковці розпочали дослідження дріжджової культури *Saccharomyces cerevisiae*, первинно для оцінки її впливу на продуктивність сільськогосподарських тварин» [32]. Експериментальні дані виявили неочікуваний позитивний ефект цих дріжджів на приріст маси та імунний статус бройлерів, що зазнавали впливу афлатоксинів. «Подальші дослідження продемонстрували здатність штаму *Saccharomyces cerevisiae* зв'язувати до 77% афлатоксинів у дозозалежний спосіб» [34].

Значна увага науковців останнім часом приділяється процесам біотрансформації мікотоксинів у неактивні форми під впливом мікрофлори травного тракту. Зокрема, встановлено здатність рубцевих мікроорганізмів гідролізувати охратоксин до нетоксичних метаболітів.

Особливо перспективними виявились модифіковані мананолігосахариди (ММОС), які характеризуються високою антигенністю завдяки своїм мананним і глюкановим компонентам. «Антигенні властивості варіюють залежно від виду дріжджів через особливості молекулярної структури ММОС та різного ступеня їх

фосфорилування» [35]. Введення ММОС до раціону індичок продемонструвало стимуляцію специфічного імунітету, що «проявилось зростанням рівня імуноглобуліну А в жовчі на 30% та в плазмі крові на 26%» [35].

Глюкоманнанова матриця, що містить як позитивно, так і негативно заряджені групи, забезпечує незворотне зв'язування молекул різноманітних мікотоксинів. Канадські дослідники під керівництвом Тренхолма спостерігали до 80% зв'язування зеараленону за допомогою ММОС. «Порівняльні експерименти з іншими токсинозв'язуючими агентами показали, що ММОС здатні зв'язувати до 95% афлатоксину, 77% зеараленону, 59% фумонізину та близько 12% вомітоксину, що значно перевищує ефективність інших досліджуваних речовин» [36].

В іншому експерименті порівнювали ММОС із гідратованим натрій-кальцій алюмосилікатом. При високих дозах обидва продукти демонстрували зв'язування до 80% афлатоксину, однак при низьких концентраціях ММОС виявився ефективнішим.

Біологічні методи профілактики контамінації харчових продуктів включають також культивування в борошняних середовищах мікроорганізмів, що продукують органічні кислоти, антибіотики та інші захисні сполуки, здатні пригнічувати розвиток токсигенних грибів.

На великих хлібопекарських підприємствах, які працюють у безперервному режимі, для приготування хліба використовуються рідкі дріжджі. Розвідувальний цикл для приготування заквашеної заварки та дріжджів триває від трьох до п'яти діб, що потребує додаткового обладнання та витрат на його обслуговування. Цей метод є складним для впровадження на малих підприємствах, де цикл роботи зазвичай є уривчастим.

«Для попередження картопляної хвороби хліба можна використовувати концентровану молочну сироватку з кислотністю 45-55 градусів у кількості 2-5% до маси борошна, а також молочнокислі бактерії, такі як *Lactobacillus casei*-26» [32]. При використанні цих бактерій, необхідно дотримуватись певних умов стерильності і температури 38-40°C протягом процесу нарощування біомаси.

Однак біологічні методи попередження захворюваності хліба мають три загальні недоліки: складність технології, тривалий час приготування та значні витрати на додаткове обладнання і його обслуговування. Вони також не підходять для малих хлібопекарських підприємств з уривчастим циклом роботи.

Фізичні методи для боротьби з пліснявами та мікотоксинами включають сушіння зерна та його обробку спеціальними препаратами. Однак цей процес вимагає значних витрат. «Після сушіння зерна (з вологою 12-13%) його вологість може збільшуватися через різницю температур у сховищах. Зазвичай температура у нижній частині сховища є нижчою, ніж у верхній, на 8-10°C, що спричиняє збільшення вологості зерна у верхніх шарах до 15% через два місяці» [36].

Для боротьби з цими проблемами в елеваторах регулярно проводяться заміри температури, зерно обдувають за допомогою вентиляторів і пересипають. Вентиляція та переміщення зерна підвищують його вартість і не завжди сприяють зниженню зараження грибами.

Одним з ефективних фізичних методів є комбінована обробка зерна тепловим і магнітним полями. «Цей метод здійснюється за допомогою двох коаксіально розташованих труб з електропровідного матеріалу, що з'єднані електрично і підключені до джерела струму» [37].

Вологотеплова обробка, наприклад екструдуювання, також покращує засвоюваність зерна, підвищує його санітарну чистоту, значно знижуючи ступінь зараження грибами та бактеріями.

Екструзія є одним з найефективніших методів обробки зерна, оскільки вона забезпечує одночасно механічне та хімічне деформування зерна, а також вибух продукту. «Це дозволяє досягти значного знищення мікрофлори всіх видів зерна на рівні 99,7–100%. Завдяки екструзії, зерно та зернові продукти стають значно чистішими і безпечнішими для споживання» [34].

Експандування, в свою чергу, ґрунтується на гідротермічній обробці корму під тиском. «Принцип дії екструдерів та експандерів схожий: продукт розігрівається, ущільнюється та випресовується через шнековий робочий орган. Однак режими обробки в цих двох методах різняться» [32].

«Переваги експандування включають можливість введення великої кількості рідких компонентів, усунення шкідливих для живлення речовин, а також поліпшення якості та засвоюваності комбікормів» [34]. Крім того, цей метод значно зменшує обсімененість сировини, знищуючи такі небезпечні мікроорганізми, як коліподібні бактерії, кишкову паличку, плісняві грибки та сальмонели.

Процес експандування також призводить до желатинізації крохмалю та деструкції целюлозно-лігнінових утворень, що значно покращує кормову цінність зерна.

«Мікронізація – це процес обробки зерна інфрачервоними променями, який значно покращує його властивості для подальшої переробки та споживання» [35]. В основі цього методу використовується інфрачервоне випромінювання, яке застосовується через мікронізатори, кварцові галогенові лампи, трубчасті електронагрівальні елементи або спіралі з високим електричним опором. Зерно, що рухається по транспортеру, піддається опромінюванню, що призводить до проникнення інфрачервоних променів всередину зерна.

Інфрачервоні промені збуджують молекули зерна, викликаючи їх інтенсивну вібрацію. Це супроводжується тертям, що генерує внутрішнє тепло, підвищуючи температуру зерна. «У результаті цього процесу гігроскопічна волога випаровується, що викликає різке збільшення тиску всередині зерна. Як результат, зерно набухає, спучується, стає м'яким і розтріскується» [36].

Мікронізація має кілька важливих переваг:

1. покращує енергетичну поживність зерна – внаслідок руйнування структур зерна, що полегшує його засвоєння.
2. руйнує трипсинові інгібітори – це покращує засвоюваність білків.
3. знищує токсичні плісняви та гриби – зменшується ризик мікробного забруднення та збереження токсичних речовин у зерні.

Завдяки цим ефектам, мікронізація є дуже корисним методом, який сприяє покращенню якості зерна та зменшенню ризику його забруднення мікотоксинами.

Екологічно чистий спосіб знезараження посівного насіння за допомогою імпульсного струму високої напруги є інноваційним методом, що не вимагає

використання отруйних хімічних препаратів. «Цей метод реалізується через спеціально розроблені електротехнологічні пристрої стаціонарного та мобільного типів, що дозволяють здійснювати одночасне зволоження та електрознезараження насіння» [37].

Процес зволоження насіння за допомогою електроактивованої води, на відміну від традиційних методів, забезпечує більш ефективне і безпечне вирощування рослин, оскільки не залучаються хімічні реагенти. «Цей метод здатен забезпечити високу ефективність знезараження та зниження мікробного забруднення без негативного впливу на екологію та здоров'я людей» [32].

Крім того, електротехнології включають і інші передові методи, зокрема «плазмоліз – процес, який використовується для обробки харчових продуктів та рослинної сировини, зокрема для знищення шкідливих мікроорганізмів та покращення якості сировини» [32].

Ще одним новим напрямком є використання НВЧ-опромінення рослинного матеріалу. Вплив електромагнітного випромінювання на живі тканини рослин викликає ефект денатурації білків, що призводить до загибелі мікроорганізмів. «Цей метод здійснюється при досить помірному нагріванні — $0,5-0,8^{\circ}\text{C}/\text{с}$, що дає змогу ефективно обробляти сировину без значного впливу на її структуру» [37].

Основні переваги таких електричних методів включають:

- відсутність хімічних препаратів.
- знищення мікроорганізмів та покращення якості насіння.
- знищення шкідливих організмів без тривалих теплових впливів.
- зволоження та знезараження.

«Ці методи сприяють розвитку екологічно чистих технологій в агрономії та можуть мати значний вплив на сільське господарство, зокрема у вирощуванні здорових і безпечних рослин» [38].

Обробка зерна за допомогою НВЧ-полів є високоефективним методом, який значно прискорює процес термообробки і дозволяє використовувати фізіологічно та біологічно активні речовини. Цей метод має кілька важливих переваг.

«Час обробки зерна НВЧ-полями для знезараження від вірусних, грибних та бактеріальних хвороб становить всього 120-150 секунд. Це значно прискорює традиційні термічні методи обробки, які можуть тривати набагато довше» [38].

Використання НВЧ-полів знижує енергетичні витрати на термообробку в 15-20 разів порівняно з традиційними методами. Це дозволяє знизити загальні витрати на обробку зерна та інших сільськогосподарських культур.

Дослідження показали, що обробка зерна за допомогою електромагнітної енергії (НВЧ) може підвищити поживну цінність зерна для птиці. Це особливо важливо для кормових культур, що використовуються в тваринництві, оскільки підвищення засвоюваності поживних речовин дозволяє зменшити витрати на корм.

«НВЧ-обробка дозволяє зберігати або навіть підвищувати рівень біологічно активних речовин у зерні, що може покращити його харчову цінність» [39].

Таким чином, обробка зерна НВЧ-полями не лише підвищує ефективність процесу обробки, але й дозволяє зберігати або покращувати його поживні та біологічні властивості, що має значення для харчової безпеки та кормової бази для тваринництва.

Внаслідок впливу електромагнітного поля НВЧ спостерігається зміна фізико-хімічних властивостей. Знижується загальна кислотність крупи, покращується показник перекисного числа жиру. Це свідчить про те, що режими НВЧ-знезараження покращують технологічні переваги кукурудзяної крупи [35, 39].

Перевагою використання НВЧ-енергії є можливість здійснювати вибірковий (локальний) нагрів окремих зон продукту, що мають різні діелектричні властивості. «Включення з більш високим коефіцієнтом поглинання будуть нагріватися швидше, до 10°C за секунду, незалежно від їх розташування в об'ємі продукту. Ця властивість НВЧ-енергії активно застосовується для пастеризації та стерилізації» [39].

Стерилізуючий ефект НВЧ-нагріву, завдяки його вибіркості, є найбільш ефективним не для окремих мікроорганізмів, а для їх колоній. Летальна дія тепла на мікроорганізми досягається в широкому діапазоні температур, причому летальність значно підвищується при високих температурах.

1.4 Мета і завдання дослідження

Метою роботи є обґрунтування системи знезараження зерна шляхом обробки в електромагнітному полі надвисокої частоти, що забезпечує екологічну безпеку та високу якість готової продукції.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1. провести аналітичний огляд літературних джерел з обраної тематики;
2. визначити вплив НВЧ-випромінювання на зараженість зерна пшениці;
3. встановити вплив НВЧ-випромінювання на білковий та вуглеводний комплекс зерна пшениці;
4. визначити вплив НВЧ-випромінювання на кислотність зерна пшениці;
5. провести визначення ціни дослідження.

Висновки по розділу.

В результаті проведених досліджень встановлено, що основними представниками патогенного комплексу, який забруднює зерно пшениці, є гриби родів *Fusarium*, *Aspergillus* та *Penicillium*. Ці мікроорганізми активно розвиваються за умов підвищеної вологості, температури зберігання та пошкодження зерна, і становлять значну загрозу як для якості зернової сировини, так і для здоров'я споживачів. *Fusarium spp.* переважно заражають зерно ще в полі, призводячи до накопичення мікотоксинів. *Aspergillus* і *Penicillium* частіше є постзбиральними контамінантами і характеризуються стійкістю до дії високих температур та традиційних методів очищення.

Факторами, що найбільш суттєво впливають на збереження якості зерна під час зберігання, є вологість, температура, вентиляція та рівень зараженості мікрофлорою. Висока вологість (понад 16%) створює умови для інтенсивного розвитку грибкових інфекцій, гідролізу ліпідів, активізації ферментативних процесів і, як наслідок, погіршення хлібопекарських властивостей зерна. Зниження вологості до оптимального рівня (13–14%) та забезпечення належного

температурного режиму є ключовими умовами для збереження якості зерна протягом тривалого періоду.

Щодо методів знезараження, традиційні фізико-механічні та хімічні підходи є недостатньо ефективними при внутрішньому ураженні зерна, особливо у випадку з грибами роду *Penicillium*. Перспективним методом є застосування НВЧ-енергії, яка, залежно від температури та часу обробки, забезпечує зниження чисельності мікроорганізмів і зменшення титрованої кислотності. НВЧ-обробка також сприяє частковій інактивації ферментів, що розщеплюють крохмаль і білки, зберігаючи технологічну якість зерна. Диференційоване застосування режимів НВЧ-дії дозволяє впливати на білково-клейковинний та вуглеводно-амілазний комплекси, підвищуючи ефективність знезараження без суттєвого погіршення якості продукції.

Застосування НВЧ-обробки не лише забезпечує ефективне знезараження зерна, але й дозволяє регулювати його технологічні властивості відповідно до призначення. Наприклад, при обробці зерна для кондитерської промисловості рекомендовано використовувати м'які температурні режими (35–45 °C), які сприяють ослабленню клейковини та покращують розтікання тіста. Натомість при нагріванні до 59–69 °C відбувається зміцнення клейковинного комплексу, що є доцільним для виробництва хлібопекарського борошна з високими показниками газоутримувальної здатності. Такий підхід дозволяє цілеспрямовано керувати якістю помольної партії шляхом підбору оптимальних режимів обробки.

Окрему увагу слід приділити стабілізації ліпідної фракції зерна. Встановлено, що під дією температури НВЧ-енергії знижується активність ліпази та ліпоксигенази, що запобігає інтенсивному накопиченню вільних жирних кислот і фосфорної кислоти, що підвищує кислотність зерна та погіршують смак хлібобулочних виробів. Це свідчить про важливу роль термічної обробки не лише у знезараженні, а й у збереженні функціональних властивостей зерна під час зберігання та переробки. З огляду на отримані результати, використання НВЧ-енергії можна розглядати як ефективний і екологічно безпечний метод знезараження зерна з одночасною стабілізацією його якісних показників.

2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ НВЧ-ОБРОБКИ ЗЕРНА ПШЕНИЦІ

2.1 Обґрунтування вихідних параметрів НВЧ-обробки зерна пшениці

У ході дослідження вивчався вплив параметрів НВЧ-обробки на життєдіяльність мікрофлори та якісні характеристики зерна кукурудзи і пшениці. Потужність електромагнітного поля коригувалася відповідно до цільової температури нагрівання зерна, що забезпечувало ефективну передачу теплової енергії у товщу продукту. Тривалість обробки варіювалася в діапазоні від 30 до 90 секунд залежно від обраного режиму.

Для досягнення знезаражувального ефекту зерно попередньо зволожували до рівня вологості в межах 14–20%. Це дозволяло підвищити теплопровідність зерна та активізувати руйнування патогенної мікрофлори, особливо в області зародка, де найчастіше концентруються мікроорганізми. Такий підхід забезпечував не лише ефективну інактивацію спор і вегетативних форм мікрофлори, а й мінімізував негативний вплив на технологічні властивості зерна.

Основним завданням дослідження була оцінка реакції мікрофлори зерна, а також самого зерна, на комбіновану дію різних факторів впливу. Такий аналіз проводився з метою визначення ефективності знезараження та оцінки змін фізико-хімічних властивостей зерна, яке пройшло всі етапи первинного очищення та гідротермічної підготовки перед помелом.

Вибір саме такого підходу є обґрунтованим, незважаючи на значні часові й трудові витрати. Він дозволяє забезпечити високу достовірність результатів і сформувати методичну базу для підбору оптимальних режимів НВЧ-обробки. Для досягнення цієї мети було необхідно проаналізувати комплекс факторів, що найбільше впливають на знезараження зерна та його якість у процесі обробки. До таких факторів віднесено експозицію (тривалість) обробки, швидкість нагріву, кінцеву температуру нагрівання, а також початкову вологість зерна.

Кожен із цих факторів виконує ключову роль у процесі формування як мікробіологічної стабільності, так і технологічної придатності зернової сировини. Наприклад, недостатня температура чи короткий час обробки можуть не

забезпечити інактивацію мікроорганізмів, тоді як надмірне теплове навантаження – призвести до погіршення структурних і хімічних характеристик зерна. Тому комплексний підхід із чітким регулюванням усіх зазначених параметрів дає змогу забезпечити ефективне знезараження при мінімальних втручаннях у технологічні властивості зерна.

У ході експерименту вивчалися зразки меленого зерна та окремі, заражені комплексом фітопатогенів у природних умовах. Ці зразки були отримані протягом 2024-2025 років з різних територій: Київської. Для термічної НВЧ-обробки зерна з метою його знезараження та покращення якостей використовувалася мікрохвильова піч «Samsung» (рис. 2.1).



Рисунок 2.1 – Загальний вид мікрохвильової печі Samsung

Процес нагрівання до необхідної температури контролювався шляхом комбінування часу впливу та швидкості нагріву, що дозволило варіювати температуру зразків від 20 до 100°C. Параметри швидкості та тривалості нагріву задавалися через інтерфейс управління приладу. Для забезпечення однорідності умов експерименту зразки завжди розташовували в центрі камери мікрохвильової печі для рівномірного поглинання електромагнітної енергії.

Для проведення лабораторних дослідів кожного варіанта відбиралися однакові навішування зерна, крупи або борошна вагою по 200, 500 або 1000 грамів.

Потім навішування містилися в електромагнітному полі НВЧ ($f = 2,45$ мГц) і оброблялися на заданих режимах відповідно до обраного плану експерименту.

Після вилучення наважок з НВЧ-камери проводилося вимірювання температури нагріву зерна спиртовим термометром, максимальним термометром або термопарою. З відібраних наважок відбиралися проби експерименту. Для порівняння паралельно проводився досвід з необробленим у НВЧ-полі зразком (контрольний варіант 10).

2.2 Методики проведення мікробіологічних та фізико-хімічних досліджень

Для проведення експерименту необхідна підготовка зразків, визначення вологості досліджуваного матеріалу, відбір наважок і підготовка контейнерів

Мікробіологічні дослідження проводилися з урахуванням вимог до зерна, що використовується в харчовій промисловості та є предметом міжнародної торгівлі. Ці вимоги базуються на міжнародних стандартах ISO, чинних державних стандартах та санітарних нормах України, які регулюють якість зерна та продуктів його переробки за різними параметрами. Аналіз мікопейзажу здійснювався згідно з методикою, описаною в Міждержавному стандарті 12044-93, а також з використанням рекомендацій з відповідних публікацій.

Перед початком мікробіологічних досліджень приміщення бактеріологічної лабораторії проходило обробку дезінфекційними засобами та ультрафіолетовим бактерицидним випромінюванням. Поживне середовище розподілялося в чашки Петрі рівномірним шаром товщиною 3-4 мм. Процес посіву здійснювався зі строгим дотриманням стерильності.

Аеробне культивування зразків проводилося при температурі 25 °C протягом трьох-семи днів. Після інкубації здійснювався підрахунок кількості колоній на обраних чашках Петрі, зокрема визначалася кількість колоній цвілевих грибів родів *Fusarium*, *Penicillium* та *Aspergillus*. Ідентифікація грибів проводилася візуально через закриті чашки Петрі з подальшим мікроскопічним дослідженням колоній.

Зерно, як відомо, є живим організмом, чутливим до зовнішніх умов. Його складний хімічний склад, що зумовлює технологічні переваги та харчову цінність, є динамічним і змінюється під зовнішнім впливом. Тому в дослідженні важливим

було не лише звільнити зерно від інфекції, але й зберегти його технологічні властивості.

У ході експерименту оцінювався вплив режимів знезараження на білковий комплекс. Кількість та якість клейковини визначалися відповідно до ДСТУ 46.004:2006 (Борошно пшеничне. Технічні умови) та ДСТУ 3768:2010 (Зерно пшениці. Технічні умови). Відомо, що до складу зерна входять речовини, які у водних розчинах розпадаються на іони водню та гідроксилу. Кислотні властивості борошна обумовлені наявністю карбоксильних груп у білках, вільних жирних кислот, що утворюються при розщепленні жирів, а також фосфорної, молочної, яблучної та інших органічних кислот. Сполуки кислотного характеру (білки та неорганічні фосфати) дещо переважають над лужними, що зумовлює слабокислу реакцію водних витяжок (рН 6). Кислотність борошна, висівок та зерна визначалася за ДСТУ ISO 3093:2007 (Пшениця, жито та борошно з них, кукурудзяна крупа та кукурудзяне борошно. Визначення кислотності за методом екстракції холодною водою).

Титрована кислотність є більш повним показником якості зерна. Незважаючи на складності у визначенні кінцевої точки титрування, пов'язані з частковою адсорбцією луку поверхнею твердих частинок суспензій, для контролю якості зерна найбільш прийнятним вважається титрування водної бовтанки.

Висновки по розділу.

В розділі обґрунтовано вихідні параметри НВЧ-обробки зерна пшениці з метою досягнення оптимального балансу між ефективним знезараженням від фітопатогенів та мінімізацією негативного впливу на технологічні властивості зерна. Діапазон температур (20-100°C) та час експозиції підбиралися на основі аналізу чутливості різних видів мікроорганізмів до термічного впливу та врахування термостійкості білково-вуглеводного комплексу зерна.

Для комплексної оцінки впливу НВЧ-обробки на зерно було розроблено та застосовано ряд методик мікробіологічних та фізико-хімічних досліджень. Мікробіологічний аналіз, що проводився згідно з міжнародними та національними

стандартами (ISO, ДСТУ), дозволив кількісно та якісно визначити зміни у видовому складі та загальній кількості мікроорганізмів, включаючи потенційно небезпечні цвілеві гриби. Фізико-хімічні методи, що включали визначення кількості та якості клейковини (за ДСТУ 46.004:2006 та ДСТУ 3768:2010) та кислотності (за ДСТУ ISO 3093:2007), були спрямовані на оцінку збереження технологічних характеристик зерна після обробки.

Таким чином, у розділі обґрунтовано вибір вихідних параметрів НВЧ-обробки та представлено комплекс методик, що включають мікробіологічні та фізико-хімічні дослідження, які дозволять всебічно оцінити ефективність термічного НВЧ-знезараження зерна пшениці та його вплив на якість.

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1 Вплив НВЧ-випромінювання на зараженість зерна пшениці

На всіх великих комбінатах хлібопродуктів в Україні існує повний цикл очищення зерна та підготовки його до помелу.

Для проведення досліджень з метою оцінки впливу методів обробки та НВЧ-енергії на зараженість мікрофлорою зерна відбиралися проби на ділянках подачі помольних партій з елеватора та за стадіями технологічного процесу.

При обробці сухого зерна у НВЧ поле відбувається зниження загального мікробного зараження та кількості колоній неспорових бактерій. При НВЧ-обробці відмічено більш інтенсивне нагрівання високозольного зерна, оскільки в ньому міститься більше важких металів, макро- і мікроелементів, але ефективного знезараження сухого зерна не відбувається. Необхідно відзначити сприятливий фактор, пов'язаний зі зниженням зольності зерна в результаті технологічного процесу очищення зернової маси, а значить з винятком її інтенсивного нагріву, що супроводжується додатковою втратою енергії.

Випробування помольних партій зерна, спеціально відібраних за високим мікробним забрудненням, проводилися у виробничих умовах.

В результаті реалізації системи досліджень вивчалася мікрофлора, що складається з представників, здатних проникати у внутрішні частини зерен, розвиватися і викликати їх псування, а також накопичувати мікотоксини. Розвиток цієї групи мікроорганізмів призводить до значних територій якості зернових партій. Внаслідок недотримання технологій післязбиральної обробки, транспортування та зберігання відбувається активна життєдіяльність патогену, що приводить до продукування високотоксичних речовин – мікотоксинів.

Гриби роду *Fusarium* вважаються стійкими до впливу знезаражувальних методів, що існують. Пояснюється це відсутністю вимогливості до умов довкілля, здатністю утилізувати різні субстрати. Цьому сприяє добре розвинений ферментативний апарат, наявність різних процесів розмноження. Все це є джерелом генетичної різноманітності та здібностей до адаптації. Проте вплив

енергії НВЧ-поля досить ефективний. В результаті проведених досліджень з оцінки впливу НВЧ-енергії на розвиток фузаріозної інфекції зерна та продуктів його переробки збудовано графічні залежності (рис. 3.1-3.2).

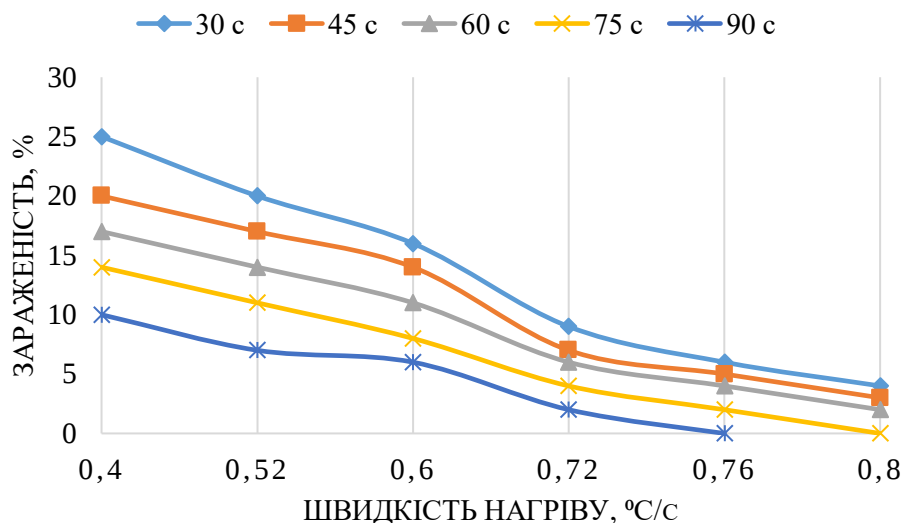


Рисунок 3.1 – Вплив швидкості нагріву НВЧ-випромінювання на зараженість зерна пшениці збудниками роду *Fusarium*

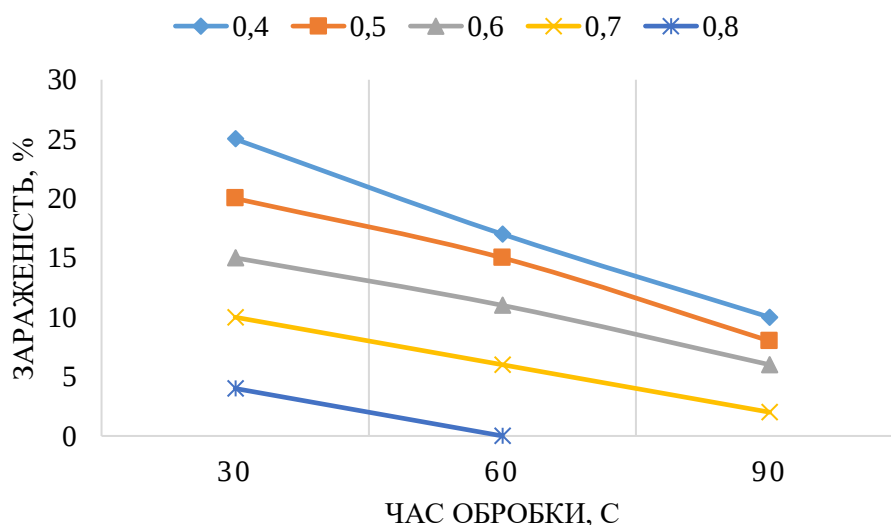


Рисунок 3.2 – Вплив експозиції НВЧ- випромінювання на зараженість зерна пшениці збудниками роду *Fusarium*

Рациональне співвідношення температури нагрівання, початкової вологості зерна та технологічних параметрів обробки дозволяє досягти ефективного знезаражувального результату. Для досягнення належного ефекту необхідно

підтримувати температурні й режимні показники на середньому або високому рівні за умови вологості зерна в межах 15,5–16,5% і температури нагріву близько 60 °С. Після обробки рівень інфікованості знижується до безпечного значення. Застосування температури 70 °С забезпечує повне знищення інфекційного агента.

Аналізуючи результати графіків (рис. 3.1-3.2), встановлено, що найбільш ефективна зона режимів знаходиться в межах: тривалість обробки – 60-90 с, швидкість нагрівання – 0,6-0,8 °С/с, температура – 60-85 °С. Застосування температури 50-57 °С зменшує ступінь ураженості у 2–3 рази, тоді як нагрів при температурі 30-45 °С зі швидкістю 0,4 °С/с не забезпечує видалення фузаріозної інфекції із зерна.

Гриби роду *Aspergillus* належать до групи сапрофітних грибів, або пліснявих грибів зберігання. На пшениці вони переважно представлені двома видами – *Aspergillus micheli* та *Aspergillus candidus*.

Aspergillus micheli утворює світло забарвлений міцелій, а його конідієносії мають міхуроподібне здуття на верхівці. На поверхні цього здуття у вигляді колонки розташовані один або два ряди стеригм, на яких формуються ланцюжки конідій. Конідії одноклітинні, еліпсоподібної форми, з гладенькою або іноді шипуватою поверхнею.

Вологість зерна в досліді становила 17,5%. Через підвищений рівень вологи спостерігалось інтенсивне нагрівання зерна, яке супроводжувалося активним випаровуванням вологи.

Це вплинуло на кінцеву температуру нагріву: вона виявилася нижчою за очікувану, оскільки волога, що випаровувалася з поверхні зернин, охолоджувала їх і не дозволяла досягти необхідного температурного рівня.

У зв'язку з цим було вирішено проводити подальші дослідження із зерном вологістю 15–16%.

У проведеному досліді використовувалися партії зерна, що пройшли повне очищення та були підготовлені до розмелу. На основі отриманих результатів (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Вплив НВЧ-випромінювання на зараженість зерна пшениці збудниками роду *Aspergillus*

Варіант	Режим		Температура, °C	Зараженість на 50 шт, зерен		
	Експозиція, с	Швидкість нагріву, °C/с		Повторність		
				I	II	III
1	200	0,8	100	0	0	0
2	100	0,8	70	2	0	0
3	200	0,4	67	4	4	5
4	100	0,4	47	16	16	16
5	200	0,6	85	0	0	0
6	100	0,6	60	10	11	10
7	150	0,8	94	0	0	0
8	150	0,4	70	9	10	9
9	150	0,6	85	1	1	1
10	Контроль			23	23	21

Як видно, найбільш ефективні режими розташовані в межах наступних значень: швидкість нагрівання – від 0,64 до 0,8 °C/с, тривалість обробки – від 54 до 60 с. Ці параметри відповідають варіантам 1, 2, 3, 5, 7 і 9. Температура нагріву зерна у межах дослідження змінювалася від 43 до 70 °C. В результаті обробки зерна протягом 60-90 секунд при швидкості нагріву, що коливається в межах 0,6-0,8 °C/с, зараженість знижується до нуля.

На зерні пшениці гриби роду *Penicillium* утворюють колонії різного кольору: світло-зеленого, блакитно-зеленого, жовто-кремового або оливкового відтінку. Конідіоносії мають перегородки у верхній частині, а конідії, які формуються в ланцюжках, є одноклітинними, овальної форми та мають зелений колір у масі.

Найчастіше зустрічаються види, що належать до *Penicillium cyclospium* – колонії цих грибів мають забарвлення від світло-блакитного до темно-зеленого.

Їхні конідіоносії поодинокі, з однією або кількома бічними гілочками, конідії – кулясті. Типовим для ураженого зерна є також вид *Penicillium cyclospium*, який формує характерні плями в області зародка зернівки, що нагадують "вічка" синюватого або зеленого кольору. Спори цього гриба можуть проникати під оболонку зернівки й виявляються при натисканні. Хвороба зазвичай має прихований перебіг.

Оскільки пеніцильоз є внутрішньою інфекцією, повністю усунути його із зернівки за допомогою традиційних методів обробки та підготовки до помелу практично неможливо.

До того ж спори грибів роду *Penicillium* характеризуються високою термостійкістю і здатні витримувати температуру понад 170 °С. Водночас зерно, яке пройшло всі етапи очищення та зволоження, значно легше піддається знезараженню від мікроорганізмів та їх спор.

Зволожені спори під дією температури від 60 °С і вище, особливо за умов оптимального поєднання режимних параметрів, руйнуються значно легше.

На рис. 3.3 та 3.4 показано графічні залежності зараженості зерна пшениці від параметрів НВЧ-випромінювання.

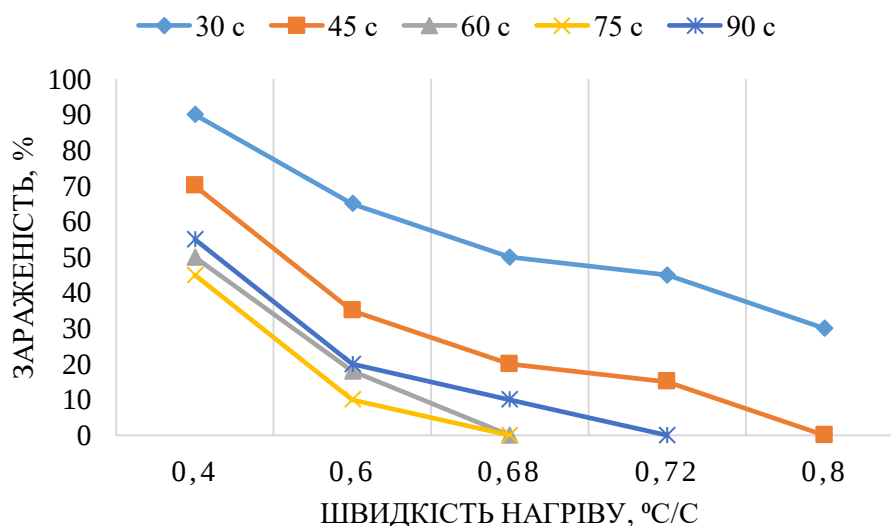


Рисунок 3.3 – Вплив швидкості нагріву НВЧ-випромінювання на зараженість зерна пшениці збудниками роду *Penicillium*

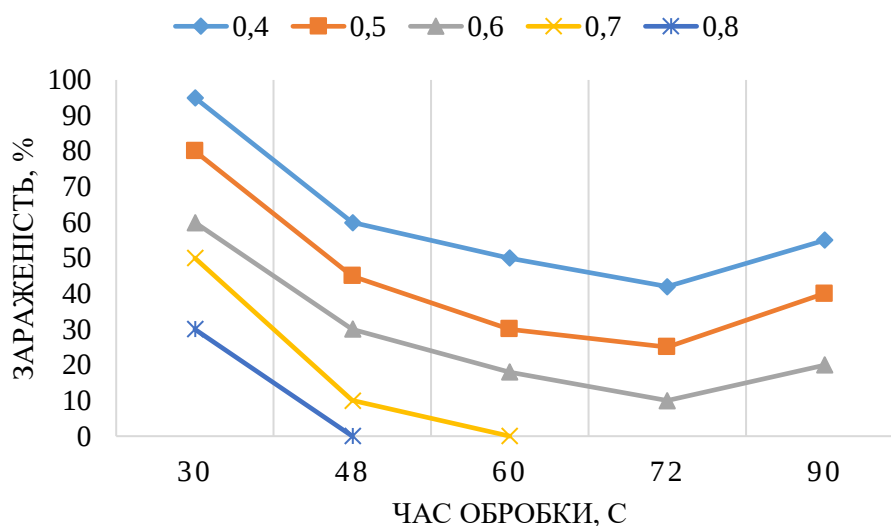


Рисунок 3.4 – Вплив експозиції НВЧ-випромінювання на зараженість зерна пшениці збудниками роду *Penicillium*

Аналізуючи обидва графіки (рис. 3.3, 3.4), можна зробити такі висновки. З першого графіка видно, що зараженість загалом зменшується зі збільшенням часу обробки до 72 секунд, після чого починає зростати. Нижчі значення параметра (0,4-0,5) дають вищу зараженість, а вищі значення (0,7-0,8) - нижчу зараженість.

Оптимальний час обробки для всіх параметрів становить 72 секунди. При параметрі 0,8 і часі обробки 72 секунди спостерігається найменша зараженість (близько 10%). З другого графіка помітно, що зараженість стабільно зменшується зі збільшенням швидкості нагріву для всіх температур.

При вищих температурах (75°C, 90°C) і швидкості нагріву 0,8°C/c зараженість наближається до 0%. При нижчих температурах (30°C) навіть висока швидкість нагріву не забезпечує достатнього зниження зараженості.

На основі аналізу обох графіків (рис. 3.3, 3.4) можна визначити найкращі параметри: час обробки - 72 секунди, швидкість нагріву - 0,8°C/c, температура - 75-90°C.

За таких параметрів обробки досягається мінімальна зараженість (близько 0-10%), що є найефективнішим результатом серед представлених даних.

3.2 Вплив НВЧ-випромінювання на білковий та вуглеводний комплекс зерна пшениці

Збільшення обсягів виробництва зерна обумовлює необхідність подальшого вдосконалення техніки та технології зберігання та переробки у високоякісну сировину для хлібопекарської промисловості. Основним завданням при переробці зерна є вироблення борошна, що дає при випіканні хліб високої якості.

До вимог, що стосуються якості хліба як продукту харчування, слід віднести дуже важливі технологічні переваги борошна: кількість клейковини, кількість падіння, кислотність, кількість і якість жирів.

Одним з основних показників технологічних переваг зерна є кількість і якість клейковини [25]. Ці показники не стабільні і виявляються як теплова денатурація білка. Денатурація виникає в залежності від вологості зерна, інтенсивності нагріву, температури і тривалості впливу і знаходженні в нагрітому до високої температури стані. Залежно від умов, викликаних впливом НВЧ-енергії, у зерні можна виділити три стадії якісних змін зерна.

На початковій стадії спостерігається дія помірних режимів. Поєднання низьких та середніх значень тривалості та інтенсивності призводить до формування невисокої температури в діапазоні 33-45°C. Такий вплив особливо сприятливий для зерна з початково низькою схожістю, що знаходиться на межі життєздатності.

У наступній стадії температура підвищується до 60°C завдяки комбінації середніх параметрів режиму, що супроводжується продовженням процесу денатурації та незначним зниженням життєздатності зерна. За індексом деформації клейковини зерно змінює свою категорію з другої (задовільної та слабкої) на першу (хорошу). Відбувається покращення хлібопекарських характеристик. Спостерігається добрий питомий об'єм із розпушеною пористою структурою м'якуша. Зовнішня скоринка набуває типового забарвлення.

Третя стадія відзначається подальшим зміцненням клейковини. При досягненні температури 75°C і вище клейковина стає крихкою і часто не піддається вимиванню взагалі.

У ході досліджень впливу режимів знезараження на білково-клейковинний комплекс зерна було встановлено, що задані параметри призводять до змін у властивостях клейковини. Завдяки регулюванню показника ІДК шляхом дії НВЧ-енергії можливо отримати борошно з визначеними технологічними характеристиками.

Термічне знезараження із застосуванням НВЧ-поля впливає як на якісні, так і кількісні показники клейковинного комплексу (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 – Вплив НВЧ-енергії на клейковину зерна пшениці

Варіант	Режим		Температура, °C	Клейковина	
	Експозиція, с	Швидкість нагріву, °C/с		Кількість, %	Якість, од. ІДК
1	90	0,8	85	Зруйнована	-
2	90	0,4	46	23,0	76,6
3	30	0,8	55	23,0	93,3
4	30	0,4	33	23,0	93,3
5	60	0,8	76	Не відмито	-
6	60	0,4	40	23,0	67,7
7	90	0,6	69	23,0	68,4
8	30	0,6	39	23,0	68,1
9	60	0,6	59	23,0	73,3
10	Контроль			23,0	85,7

Як видно з табл. 3.2, руйнування клейковинного комплексу спостерігається при температурі 75 °C і вище, що відповідає режимам варіантів 1 і 5.

У пробних випічках зразків, оброблених за цими режимами, зафіксовано незначне погіршення якості хліба – зокрема, зниження об'єму через зменшену пористість виробів.

Пористість безпосередньо залежить від здатності білково-протеолітичного комплексу утримувати газ.

Під дією режимів варіантів 3 і 4 (35-45 °С) відбувається ослаблення клейковини. Ці параметри доцільно використовувати для зерна з показником ІДК 20–40 од. (задовільна міцна група якості) під час виробництва помелів для кондитерської промисловості, де необхідне борошно з ІДК 90-95 од.

Натомість режими варіантів 7 і 9 (нагрівання до 59-69 °С) сприяють зміцненню клейковини. Отже, режими знезараження суттєво впливають на технологічні властивості зерна, зумовлюючи різні зміни в структурі клейковини. Це дозволяє, залежно від цільового призначення зерна, оптимально поєднувати методи гідротермічної та термічної НВЧ-обробки, забезпечуючи диференційований підхід до вибору режимів знезараження.

Окрім клейковини, важливу роль у формуванні хлібопекарських властивостей відіграє стан вуглеводів зерна – зокрема, крохмалю, цукрів та ферментів, що їх розщеплюють. Саме від якості вуглеводного комплексу залежить газоутворювальна здатність борошна, що є критично важливою з технологічної точки зору.

Недопустимим є розпад крохмалю з утворенням надлишку цукрів і супутнім вивільненням вологи, що стимулює підвищення амілолітичної активності зерна. Посилена дія ферментів амілазного комплексу погіршує якість і зерна, і борошна. Хліб з такого борошна часто має дефекти: недостатньо сформовану скоринку, сірий і вологий на дотик м'якуш, солодовий присмак і запах.

Стан вуглеводно-амілазного комплексу визначається за показником числа падіння (ЧП), який може змінюватись у межах від 60 до 600 секунд. При зростанні активності ферментів число падіння знижується. Оптимальним вважається числом падіння у межах 150-550 секунд, що забезпечує якісний хліб.

Результати визначення числа падіння борошна, отриманого із зерна пшениці наведено в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Вплив НВЧ-випромінювання на якість крохмалю в зерні пшениці

Варіант	Режим		Температура, °С	Число падіння, с
	Експозиція, с	Швидкість нагріву, °С/с		
1	90	0,8	90	340
2	90	0,4	60	380
3	30	0,8	45	359
4	30	0,4	33	389
5	90	0,6	73	380
6	30	0,6	50	340
7	60	0,8	65	370
8	60	0,4	46	371
9	60	0,6	55	350
10	Контроль			360

Як видно з даних табл. 3.3, показник числа падіння (ЧП) має добру кореляцію з кількістю та якістю клейковинного комплексу зерна. У результаті впливу режимів термічного знезараження в усіх дослідних варіантах не було зафіксовано істотних змін значення цього показника. На основі наведених даних про вплив режимів термічного знезараження на показник числа падіння можна зробити такі висновки:

Значення ЧП залишається у межах контрольного зразка (360 с) – від 340 до 389 секунд, що свідчить про стабільність активності амілаз за умов термообробки. Найменше ЧП (340 с) спостерігалось у варіантах 1 та 6 (з температурою 90 °С та 50 °С відповідно), що може вказувати на незначне підвищення амілолітичної активності, ймовірно через глибше прогрівання або втрату частини вологи. Найвище ЧП (389 с) у варіанті 4 (30 с, 0,4 °С/с, 33 °С) свідчить про низьку ферментативну активність, що характерно для м'якої обробки при низьких

температурах. У варіантах 2 і 5 (температура 60–73 °C) ЧП зберігається на рівні 380 с, що відповідає якісному зерну без ознак активного ферментного розпаду. Вплив експозиції та швидкості нагріву на ЧП є незначним у межах досліджуваних режимів, отже різкі зміни ферментативної активності не відбуваються. Усі значення ЧП знаходяться у межах стандарту для хлібопекарського зерна (150–550 с), отже, жоден з режимів не призводить до псування вуглеводно-амілазного комплексу.

Таким чином, режими НВЧ-обробки не мають критичного впливу на активність ферментів, а отже можуть застосовуватись для знезараження без втрати основних технологічних властивостей зерна.

3.3 Вплив НВЧ-випромінювання на кислотність зерна пшениці

Одним із ключових показників, що визначають якість хлібобулочних виробів, є кислотність борошна, яка напряду залежить від кислотності вихідного зерна. Зростання кислотності зерна свідчить про накопичення летких органічних кислот. Окрім власне ліпідів (ефірів гліцерину та жирних кислот), істотну роль у цьому процесі відіграють фосфатиди – складні ліпіди, до складу яких входять залишки жирних кислот, фосфорної кислоти, спирти та азотовмісні сполуки. Ці компоненти беруть активну участь у життєвих процесах клітин.

У разі зберігання зерна за несприятливих умов або під дією мікроорганізмів відбувається гідролітичне розщеплення фосфатидів, що спричиняє накопичення фосфорної кислоти та її жирних солей. Це призводить до підвищення загальної кислотності зерна та продуктів його переробки, що негативно впливає на їхні смакові характеристики.

Застосування термічного знезараження за допомогою НВЧ-енергії сприяє стабілізації ліпідного комплексу. Обробка вологого зерна теплом суттєво знижує активність ферментів ліпази та ліпоксигенази. Поряд з гідролізом у зерні також відбуваються окислювальні процеси, внаслідок яких зменшується вміст жирних кислот.

НВЧ-обробка за визначеними режимами та температурними умовами нагріву сприяє зниженню кислотності зерна.

Для прикладу, в дослідженні було використано пшеницю з початковою титрованою кислотністю 5,0 Т. Результати дослідження наведено в табл. 3.4. У всіх варіантах після обробки цей показник зменшувався у 1,5-2 рази. Причому чим вищою була температура нагріву, тим більш вираженим було зниження титрованої кислотності.

Таблиця 3.4 – Вплив НВЧ-випромінювання на титровану кислотність зерна пшениці

Варіант	Режим		Температура, °C	Титрована кислотність, °Т
	Експозиція, с	Швидкість нагріву, °C/с		
1	90	0,8	85	2,6
2	30	0,8	50	4,8
3	90	0,4	60	4,6
4	30	0,4	41	4,8
5	90	0,6	76	2,6
6	30	0,6	40	3,0
7	60	0,8	70	2,8
8	60	0,4	48	3,0
9	60	0,6	60	2,4
10	Контроль			5,0

Під впливом жорстких режимів термічної обробки знижується розчинність усіх білкових фракцій, що свідчить про теплову денатурацію білків. Крім того, змінюється амінокислотний склад, зокрема спостерігається накопичення вільних амінокислот. Водночас при підвищенні температури їхній вміст зменшується, ймовірно, через процеси, пов'язані з утворенням амілази.

Висновки по розділу.

При дослідженні впливу параметрів НВЧ-випромінювання на зараженість зерна пшениці збудниками роду *Fusarium* встановлено, що найбільш ефективна зона режимів знаходиться в межах: тривалість обробки – 60-90 с, швидкість нагрівання – 0,6-0,8 °C/с, температура – 60-85 °C. Застосування температури 50-57 °C зменшує ступінь ураженості у 2–3 рази, тоді як нагрів при температурі 30-45 °C зі швидкістю 0,4 °C/с не забезпечує видалення фузаріозної інфекції із зерна.

Для знезараження зерна пшениці від збудників роду *Aspergillus* найбільш ефективні режими розташовані в межах наступних значень: швидкість нагрівання – від 0,64 до 0,8 °C/с, тривалість обробки – від 54 до 60 с. Ці параметри відповідають варіантам 1, 2, 3, 5, 7 і 9. Температура нагріву зерна у межах дослідження змінювалася від 43 до 70 °C. В результаті обробки зерна протягом 60-90 секунд при швидкості нагріву, що коливається в межах 0,6-0,8 °C/с, зараженість знижується до нуля.

Вплив параметрів НВЧ-випромінювання на зараженість зерна пшениці збудниками роду *Penicillium* можна визначити як позитивний при наступних режимах: час обробки - 72 секунди, швидкість нагріву - 0,8°C/с, температура - 75-90°C. За таких параметрів обробки досягається мінімальна зараженість (близько 0-10%), що є найефективнішим результатом серед представлених даних.

Термічне знезараження із застосуванням НВЧ-поля впливає як на якісні, так і кількісні показники клейковинного комплексу

Встановлено, що режими знезараження суттєво впливають на технологічні властивості зерна, зумовлюючи різні зміни в структурі клейковини. Руйнування клейковинного комплексу спостерігається при температурі 75 °C і вище.

Під дією режимів з температурою 35-45 °C відбувається ослаблення клейковини. Ці параметри доцільно використовувати для зерна з показником ІДК 20–40 од. (задовільна міцна група якості) під час виробництва помелів для кондитерської промисловості, де необхідне борошно з ІДК 90-95 од. Натомість режими нагрівання до 59-69 °C сприяють зміцненню клейковини.

Встановлено, що вплив експозиції та швидкості нагріву на число падіння є незначним у межах досліджуваних режимів, отже різкі зміни ферментативної активності не відбуваються. Усі значення числа падіння знаходяться у межах стандарту для хлібопекарського зерна (150–550 с), отже, жоден з режимів не призводить до псування вуглеводно-амілазного комплексу. Найменше ЧП (340 с) спостерігалось у варіантах з температурою 90 °С та 50 °С відповідно, що може вказувати на незначне підвищення амілолітичної активності, ймовірно через глибше прогрівання або втрату частини вологи. Найвище ЧП (389 с) у варіанті з наступним режимом обробки: 30 с, 0,4 °С/с, 33 °С, що свідчить про низьку ферментативну активність, що характерно для м'якої обробки при низьких температурах.

Зафіксовано, що НВЧ-обробка за визначеними режимами та температурними умовами нагріву сприяє зниженню кислотності зерна. У всіх варіантах після обробки цей показник зменшувався у 1,5-2 рази. Причому чим вищою була температура нагріву, тим більш вираженим було зниження титрованої кислотності.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Основні аспекти охорони праці при роботі з генераторами НВЧ-випромінювання

«Охорона праці є невід'ємною частиною основних прав людини, гарантованих Конституцією та законодавством України. Абсолютно безпечних і цілком нешкідливих умов праці не існує, оскільки виробниче середовище завжди пов'язане з певними ризиками для здоров'я працівника» [40].

У разі впливу на працівника електромагнітного поля (ЕМП), параметри якого перевищують граничнодопустимі норми, можуть виникати як гострі, так і хронічні порушення фізіологічних функцій організму. «Такі зміни обумовлені дією електричного компонента ЕМП на нервову систему, а також на структури головного й спинного мозку та серцево-судинну систему» [41-43].

У більшості випадків ці порушення носять зворотний характер: вони накопичуються при тривалому впливі, поступово посилюються, але здебільшого зменшуються або зникають після припинення дії шкідливого чинника та поліпшення умов праці.

Однак за умови тривалого й інтенсивного впливу ЕМП в організмі можуть формуватися стійкі функціональні розлади та захворювання. Комбінована дія електромагнітного випромінювання різного частотного діапазону здатна призвести до розвитку радіохвильової хвороби. Ступінь її тяжкості залежить від інтенсивності поля, характеристик частотного спектра, тривалості експозиції, умов довкілля, а також від фізіологічного стану організму, його здатності адаптуватися до дії шкідливих факторів.

«Навіть мінімальне перевищення допустимих санітарних норм електромагнітного випромінювання (ЕМВ) здатне підвищити ймовірність розвитку різноманітних патологій, включаючи респіраторні проблеми та розлади травної системи» [40].

«Коли людський організм піддається впливу ЕМВ у діапазоні від 30 кГц до 300 МГц, спостерігається комплекс негативних симптомів: виснаження, хронічна втома, порушення нормального режиму сну, цефалгія та кардіалгія» [42]. Психоемоційний стан також зазнає змін: з'являється нервозність, розсіюється увага, сповільнюється психомоторна реакція та мовленнєва функція. Діагностуються ознаки дисфункції шлунково-кишкового тракту, гепатобіліарної системи та підшлункової залози. Відбувається пригнічення харчової та статевий рефлекторної діяльності, порушується функціонування серцево-судинної системи. На біохімічному рівні реєструються аномалії метаболізму білків і вуглеводів, трансформація гематологічних показників та структурні зміни на клітинному рівні.

«Тривалий вплив високочастотного та надвисокочастотного ЕМВ провокує гіпертензію і трофічні порушення (алопецію, підвищену ламкість нігтьових пластин)» [43]. Електромагнітні хвилі викликають зміну поляризації атомів і молекул у клітинних структурах, що призводить до небезпечного термічного ефекту. Надмірне підвищення температури тканин негативно впливає як на окремі органи, так і на цілісну систему людського організму.

«Інтенсивне опромінення мікрохвильовим (НВЧ) випромінюванням одразу викликає слюзотечу, подразнення слизових оболонок очей і звуження зіниць» [41]. Після короткого латентного періоду (до двох діб) виникає погіршення зору, яке поглиблюється при повторному впливі випромінювання, що свідчить про накопичувальний (кумулятивний) характер ушкоджень.

Організм здатен регенерувати уражені клітини, однак цей процес є тривалим і можливий лише за сприятливих умов. При збільшенні тривалості та інтенсивності дії електромагнітного випромінювання ураження можуть ставати незворотними. «Прямий вплив НВЧ-випромінювання на око спричиняє ушкодження рогівки. Найвразливішим до частотного діапазону 1–10 ГГц є кришталік, який зазнає значного термічного ураження при щільності потоку енергії понад 100 мВт/см²» [42]. При низькій інтенсивності помутніння проявляються в задній частині кришталіка, а при високій – поширюються на всю його товщу.

Генератори НВЧ-випромінювання є джерелами електромагнітного поля високої частоти, що може спричиняти небезпечний вплив на організм людини. Робота з такими пристроями пов'язана з ризиками для зору, центральної нервової та серцево-судинної систем, а також з можливістю розвитку хронічних захворювань при тривалому опроміненні. Для попередження шкідливого впливу необхідно встановити чіткі регламенти щодо допустимих рівнів опромінення, часу роботи та необхідних заходів захисту.

«Розробка картки безпеки праці слугуватиме обов'язковим інструктивним документом для працівників, що дозволить знизити ймовірність виробничого травматизму та профзахворювань» [40]. Розроблена картка безпеки праці наведена на рис. 4.1

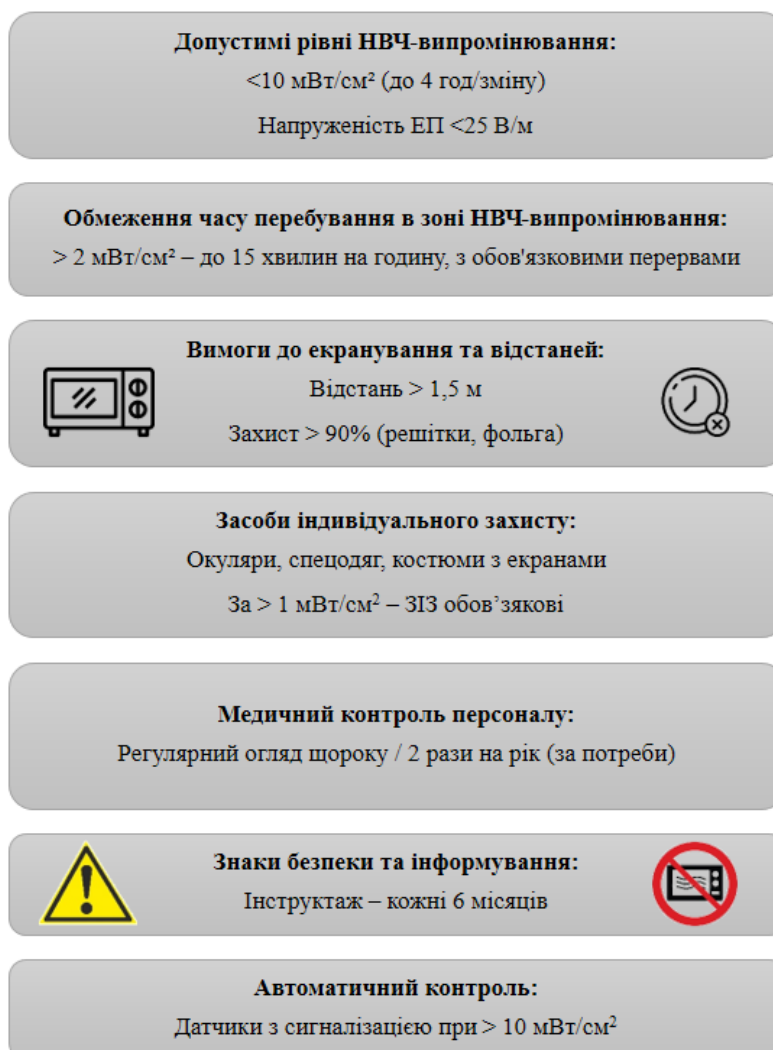


Рисунок 4.1 – Картка безпеки праці при роботі з генераторами НВЧ-випромінювання

У картці мають відображені правила використання засобів індивідуального захисту, умови контролю параметрів НВЧ-випромінювання та необхідність регулярних медичних оглядів. Також картка містить вимоги до технічного стану обладнання та порядок дій у разі виникнення аварійної ситуації.

Розробка картки безпеки праці спрямована на забезпечення безпечного технологічного процесу, охорону здоров'я персоналу та дотримання законодавства у сфері охорони праці.

Висновки по розділу.

Розгляд основних аспектів охорони праці при роботі з генераторами НВЧ-випромінювання виявив ряд потенційних небезпек, пов'язаних з впливом електромагнітного випромінювання на організм людини, ураженням електричним струмом, а також можливими термічними опіками. До ключових аспектів належать забезпечення належного екранування джерел випромінювання, контроль рівня НВЧ-поля на робочих місцях, використання засобів індивідуального захисту, проведення регулярних інструктажів та медичних оглядів працівників.

На основі виявлених небезпек та вимог нормативних актів була розроблена детальна картка безпеки праці при роботі з генераторами НВЧ-випромінювання. Цей документ містить чіткі інструкції щодо безпечного виконання робіт на всіх етапах експлуатації обладнання, включаючи підготовку до роботи, проведення вимірювань, технічне обслуговування та дії в аварійних ситуаціях. Картка безпеки праці визначає обов'язки працівників, перелік необхідних засобів захисту, порядок проведення контролю та відповідальних осіб за дотримання вимог охорони праці.

5 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

5.1 Розрахунок кошторису витрат на дослідження

«До витрат, що пов'язані із проведенням дослідження, включаються витрати на основні матеріали, електроенергію, оплату праці, амортизацію та накладні витрати» [44].

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	20	5,00	100,00
Чашка Петрі, 90 мм	20	50,00	1000,00
Піпетка Пастера	10	10,00	100,00
Секундомір	1	58,00	58,00
Ємність, 10 л	1	120,00	120,00
Ємність, 1 л	3	32,00	96,00
Вода дистильована, 3 л	1	26,00	26,00
Всього			1500,00

«Заробітна плата працівників, що займалися дослідженням, визначається множенням середньогодинного заробітку працівника на кількість витраченого часу» [44]. 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.).

$$E_{\text{ел.суш.}} = 2,2 \cdot 0,9 \cdot 8 \cdot 4,32 = 68,43 \text{ грн;}$$

$$E_{\text{НВЧ}} = 2,0 \cdot 0,9 \cdot 72 \cdot 4,32 = 559,88 \text{ грн;}$$

$$E_{\text{термост.}} = 2,0 \cdot 0,9 \cdot 60 \cdot 4,32 = 466,56 \text{ грн;}$$

$$E_{ваг} = 0,8 \cdot 3 \cdot 12 \cdot 4,32 = 182,48 \text{ грн.}$$

Отже, загальні витрати електроенергії становитимуть:

$$E_{заг} = E_{ел.суш.} + E_{НВЧ} + E_{термост.} + E_{ваг} = 68,43 + 559,88 + 466,56 + 182,48 = 1277,35 \text{ грн.}$$

Витрати на амортизацію устаткування, яке використовується в процесі проведення досліджень, обчислюються за наступною формулою:

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

де A – амортизаційні відрахування, грн.

Φ – вартість обладнання, грн.;

H – річна норма амортизації, %;

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

365 – кількість днів у році.

$$A_{ел.суш.} = \frac{2500 \cdot 20 \cdot 1}{100 \cdot 365} = 1,36 \text{ грн.};$$

$$A_{НВЧ} = \frac{2800 \cdot 20 \cdot 3}{100 \cdot 365} = 4,60 \text{ грн.};$$

$$A_{термост.} = \frac{15000 \cdot 20 \cdot 3}{100 \cdot 365} = 24,65 \text{ грн.};$$

$$A_{ваг} = \frac{4500 \cdot 12,5 \cdot 1}{100 \cdot 365} = 1,54 \text{ грн.}$$

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
Електрична сушарка	2500,00	20	1	1,36
НВЧ-піч	2800,00	20	3	4,60
Термостат	15000,00	20	3	24,65
Ваги лабораторні	4500,00	12,5	1	1,54
Всього				32,15

«Накладні витрати включають витрати, пов'язані з опаленням, освітленням, вентиляцією, утриманням бібліотеки? навчально-допоміжного і адміністративно-управлінського персоналу, а також інші господарські витрати» [44].

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

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

Результати розрахунку всіх витрат на проведення досліджень, пов'язаних з виконанням кваліфікаційної роботи зводимо в табл.5.4.

Таблиця 5.4 – Кошторис витрат на проведення дослідження

Витрати	Сума, грн
Основні матеріали	1500,00
Заробітна плата	1000,00
Нарахування на заробітну плату	220,00
Електроенергія	1277,35
Амортизація	32,15
Накладні витрати	800,00
Всього	4829,50

З таблиці 5.4 видно, що найбільшу частку витрат під час проведення дослідження впливу НВЧ-обробки на властивості зерна пшениці становлять витрати на основні матеріали, які складають 31% від загальної суми. Варто зазначити також високі витрати на електроенергію, які становлять близько 27%, у зв'язку з ростом тарифів для населення та підприємств. Найменші витрати, всього 0,6% від загальної суми, були пов'язані з амортизацією використаного обладнання.

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)» [44]:

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

де $Ц$ – ціна дослідження, грн.;

C – витрати на дослідження, грн.;

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

Таким чином:

$$Ц = 4829,50 + \frac{30 \cdot 4829,50}{100} = 6278,35 \text{ грн.}$$

Отже, вартість проведеного дослідження становить 6278,35 грн.

Висновки по розділу.

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

Найбільшу частку витрат під час проведення дослідження впливу НВЧ-обробки на властивості зерна пшениці становлять витрати на основні матеріали, які складають 31% від загальної суми. Варто зазначити також високі витрати на електроенергію, які становлять близько 27%, у зв'язку з ростом тарифів для населення та підприємств. Найменші витрати, всього 0,6% від загальної суми, були пов'язані з амортизацією використаного обладнання.

Загалом, з урахуванням 30% нормативної рентабельності вартість проведеного дослідження становить 6278,35 грн.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В результаті проведених досліджень встановлено, що основними представниками патогенного комплексу, який забруднює зерно пшениці, є гриби родів *Fusarium*, *Aspergillus* та *Penicillium*.

Факторами, що найбільш суттєво впливають на збереження якості зерна під час зберігання, є вологість, температура, вентиляція та рівень зараженості мікрофлорою. Перспективним методом є застосування НВЧ-енергії, яка, залежно від температури та часу обробки, забезпечує зниження чисельності мікроорганізмів і зменшення титрованої кислотності. НВЧ-обробка також сприяє частковій інактивації ферментів, що розщеплюють крохмаль і білки, зберігаючи технологічну якість зерна.

Застосування НВЧ-обробки не лише забезпечує ефективне знезараження зерна, але й дозволяє регулювати його технологічні властивості відповідно до призначення. Наприклад, при обробці зерна для кондитерської промисловості

При дослідженні впливу параметрів НВЧ-випромінювання на зараженість зерна пшениці збудниками роду *Fusarium* встановлено, що найбільш ефективна зона режимів знаходиться в межах: тривалість обробки – 60-90 с, швидкість нагрівання – 0,6-0,8 °C/с, температура – 60-85 °C. Застосування температури 50-57 °C зменшує ступінь ураженості у 2–3 рази, тоді як нагрів при температурі 30-45 °C зі швидкістю 0,4 °C/с не забезпечує видалення фузаріозної інфекції із зерна.

Для знезараження зерна пшениці від збудників роду *Aspergillus* найбільш ефективні режими розташовані в межах наступних значень: швидкість нагрівання – від 0,64 до 0,8 °C/с, тривалість обробки – від 54 до 60 с. Ці параметри відповідають варіантам 1, 2, 3, 5, 7 і 9. Температура нагріву зерна у межах дослідження змінювалася від 43 до 70 °C. В результаті обробки зерна протягом 60-90 секунд при швидкості нагріву, що коливається в межах 0,6-0,8 °C/с, зараженість знижується до нуля.

Вплив параметрів НВЧ-випромінювання на зараженість зерна пшениці збудниками роду *Penicillium* можна визначити як позитивний при наступних

режимах: час обробки - 72 секунди, швидкість нагріву - $0,8^{\circ}\text{C}/\text{с}$, температура - $75-90^{\circ}\text{C}$. За таких параметрів обробки досягається мінімальна зараженість (близько 0-10%), що є найефективнішим результатом серед представлених даних.

Встановлено, що режими знезараження суттєво впливають на технологічні властивості зерна, зумовлюючи різні зміни в структурі клейковини. Руйнування клейковинного комплексу спостерігається при температурі 75°C і вище.

Під дією режимів з температурою $35-45^{\circ}\text{C}$ відбувається ослаблення клейковини. Ці параметри доцільно використовувати для зерна з показником ІДК 20–40 од. (задовільна міцна група якості) під час виробництва помелів для кондитерської промисловості, де необхідне борошно з ІДК 90-95 од. Натомість режими нагрівання до $59-69^{\circ}\text{C}$ сприяють зміцненню клейковини.

Встановлено, що вплив експозиції та швидкості нагріву на число падіння є незначним у межах досліджуваних режимів, отже різкі зміни ферментативної активності не відбуваються. Усі значення числа падіння знаходяться у межах стандарту для хлібопекарського зерна (150–550 с), отже, жоден з режимів не призводить до псування вуглеводно-амілазного комплексу.

Зафіксовано, що НВЧ-обробка за визначеними режимами та температурними умовами нагріву сприяє зниженню кислотності зерна. У всіх варіантах після обробки цей показник зменшувався у 1,5-2 рази. Причому чим вищою була температура нагріву, тим більш вираженим було зниження титрованої кислотності.

Розгляд основних аспектів охорони праці при роботі з генераторами НВЧ-випромінювання виявив ряд потенційних небезпек, пов'язаних з впливом електромагнітного випромінювання на організм людини, ураженням електричним струмом, а також можливими термічними опіками. На основі виявлених небезпек та вимог нормативних актів була розроблена детальна картка безпеки праці при роботі з генераторами НВЧ-випромінювання.

Загалом, з урахуванням 30% нормативної рентабельності вартість проведеного дослідження становить 6278,35 грн.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Сандюк, О., Дерев'янюк Ю. Дослідження епіфітної бактеріальної мікрофлори фуражного зерна пшениці звичайної (*triticum vulgare*) для оцінки його якості. Матеріали II Всеукраїнської наукової конференції «Молодь. Наука. Природа» (29.04. 2021 р.), С.26-27.
2. Мікробіологія галузі: навч.-метод. посіб. до виконання лабораторних робіт для студентів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної форми навч. інж. спец. Т.В. Гавриш [та ін.]; Харків. нац. техн. ун-т с.-г. ім. П. Василенка. Харків: ХНТУСГ, 2020. С. 5–12.
3. Власенко В.В., Березовський І.В., Власенко І.Г. Мікробіологія (Навчальний посібник). Вінниця: «Едельвейс і К», 2011. 200 с.
4. Мошинець О. В. Екологія фітосфери: рослинно-мікробні Вісник Харківського національного аграрного університету. Серія Біологія. 2010. Вип. 2 (20). С. 19-35.
5. Мурашко, Л. А. Мікофлора зерна пшениці озимої. *Миронівський вісник*, (1), 2015, С. 181-188.
6. Мікробіологія харчових виробництв / за ред. Т.П. Пирог. Навчальний посібник. Вінниця: Нова Книга, 2007. 464 с.
7. Рудавська Г.Б. Морфологія мікроорганізмів. К.: Київ. держ. торг.-екон. ун-т, 1995.
8. Дмитруха Н. М. Оцінка токсичних властивостей нанотехнологічних мікроелементів в досліджах *in vivo* та *in vitro* / Н. М. Дмитруха, Т. К. Короленко, О. С. Лагутіна // Тези конференції «Біологічно активні речовини та матеріали», 2013.
9. ДСТУ ISO 7954:2006 Мікробіологія харчових продуктів та кормів для тварин. Загальні настанови з підрахунку дріжджів і мікроскопічних грибів. Техніка підрахунку колоній, культивованих за температури 25 °C. – [Чинний від 01.10.2007].

10. Гавриленко, О. С., Хоміцька, О. А., Загорулько, О. В. (2016). Оцінка впливу мікробіологічних процесів під час зберігання зерна ярої пшениці. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*, 2016, (4), С. 31-35.
11. Ретьман, М. С. Якість зерна пшениці ярої. *Карантин і захист рослин*, (12), 2011, С. 10-12.
12. Рушай О.С., Грегірчак Н.М. Дослідження мікробіологічних показників закваски та хліба із пророщеного зерна пшениці. *Ukrainian food journal*. 2012. № 2. С. 39-42.
13. Практикум з мікробіології: методичні рекомендації для студентів 2 курсу денного відділення біологічного факультету. Уклад. О. І. Віннікова, І. М. Раєвська. 4-те вид., доп. Х. : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2016. С. 47–49.
14. Ковалишина, Г. М., Муха, Т. І., Мурашко, Л. А., Кривов'яз, І. З., Заїма, О. А. Насіннева інфекція зерна пшениці озимої та захист від неї. *Захист і карантин рослин*, 2012, (58), С. 74-81.
15. Погоріла, Л. Г., Чернолата, Л. П., Найдіна, Т. В., Лихач, С. М., Здор, Л. П., Пирин, Н. І., Рудська, Н. О. Якість зерна пшениці озимої залежно від розвитку патогенної мікофлори. *Корми і кормовиробництво*, 2019, (87), С. 121-126.
16. Мурашко, Л. А., Лось, Р. М., Місюра, І. І., Гуменюк, О. В., & Кириленко, В. В. (2021). Рівень інфікованості зерна пшениці озимої грибними патогенами. *Аграрна освіта та наука: досягнення і перспективи розвитку: матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції (Біла Церква, 4-5 березня 2021 р.)* Біла Церква: БНАУ, 2021. 261 с.
17. Ковалишин, А. Б. Хвороби зерна та його якість. *Карантин і захист рослин*, 2011, (10), С.1-2.
18. Ковалишина, Г. М. Стійкість сортів пшениці озимої проти хвороб. *Захист і карантин рослин*, 2014, (60), С. 151-158.
19. Любич, В. В. (2022). Хвороби і шкідники різних сортів пшениці твердої озимої. *Збірник Уманського НУС*, 2022, С. 7-16.

20. Грабар, І. Г., Дерев'янка, Д. А., Герук, С. М. Вплив чинників післязбиральної обробки зерна на якість насіннєвого матеріалу. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*, 2010, (40 (1)), С. 3-6.
21. Юрковська, В. В., Овсянникова, Л. К., Євдокимова, Г. Й., Валецька, Л. О., Соколовська, О. Г. Вплив різних умов зберігання на якість зерна проса. *Наукові праці [Одеської національної академії харчових технологій]*, (82, Вип. 2), 2018, С. 88-95.
22. Кирпа, М. Я. Якість зерна пшениці і її основні чинники. *Вісник ХНАУ. Серія: Рослинництво, селекція і насінництво, плодовоовочівництво*, (9), 2013, С.7-16.
23. Ящук, Н. О. Вплив факторів вирощування та тривалості зберігання на фізико-технологічні властивості зерна пшениці. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Агрономія*, (183 (2)), 2013, С.185-189.
24. Федорів, В. М., Підлісний, В. В., Семенов, О. М. Обґрунтування впливу фізіологічних процесів на якість зберігання зернової маси. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка*, 2020, (33), С. 47-53.
25. Hussein H. J., Shaheed A. I., Yasser O. M.. Effect of accelerated aging conditions on viability of sunflower (*Helianthus annus* L.) seeds. *Euphrates Journal of Agriculture Science*. 2011. № 3(3). P. 1–9.
26. Наумова К. Непроста це справа – післязбиральне визрівання урожаю. *Зерно і хліб*. 2005. № 1. С. 24.
27. Кирпа М. Я. Наукове обґрунтування інноваційних промислових технологій зберігання зерна. *Бюлетень Інституту сільського господарства степової зони НААН України*. 2013. № 5. С. 93–98.
28. Yashchuk N., Matseiko L., Bober, A., Kobernyk M., Gunko S., Grevtseva N., Babych I.. The technological properties of winter wheat grain during long-term storage. *Slovak Journal of Food Sciences*. 2021. № 15. P. 38–40.
29. Малинін, О. О., Бреславець, В. О., Стегній, Б. Т., Драгуть, С. С., Обуховська, О. В., Ярошенко, М. О. Вивчення бактерицидної та фунгіцидної дій

фізико-хімічних способів знезараження зерна, штучно контамінованого тест-культурами. *Ветеринарна медицина*, (94), 2010. С. 307-310.

30. Кунденко, М. П., & Руденко, А. Ю. (2020). Аналіз сучасних методів обробки зернових за критерієм ефективності. *Вісник Приазовського Державного Технічного Університету. Серія: Технічні науки*, 2020, (41), С.136-144.

31. Kundenko, M., Rudenko, A.. Аналіз існуючих методів обробки зернового матеріалу від комірних шкідників. *Енергетика і автоматика*, 2021, (6), С.75-87.

32. Колесніченко, С. Л. Поліпшення мікробіологічної чистоти зерна шляхом обробки електроактивованою водою. *Наукові праці [Одеської національної академії харчових технологій]*, 2010, (38 (1)), С. 55-57.

33. Кунденко, М. П., & Руденко, А. Ю. (2020). Аналіз сучасних методів обробки зернових за критерієм ефективності. *Вісник Приазовського Державного Технічного Університету. Серія: Технічні науки*, (41), 136-144.

34. Інноваційні технології зберігання і переробки зерна». Розділ 1. Інноваційні технології зберігання зерна: навчально-методичний посібник для здобувачів спец. 181 «Харчові технології» другого (магістерського) рівня вищої освіти за освітньою програмою «Технологія зернопродуктів та зернові ресурси»; уклад.: І. М. Фоміна, Т. В. Гавриш, О. М. Шаніна, Н. О. Боровікова. Харків: ДБТУ, 2025. 134 с.

35. Wähle, A. *Animal Feed Technology*. M. Eeckhout & A.F.B. van der Poel (eds.). Erling Verlag, 2020, 352 p.

36. Мельник, А. О. Інноваційні підходи у виробництві комбікормів для сільськогосподарських тварин. Журнал "Технології кормовиробництва", 2020, 8(1), С. 44-51.

37. Мардзявко, В., Руденко, А.. Теоретичні та практичні аспекти застосування генераторів нвч для знезараження зернових культур. *Вісник Херсонського національного технічного університету*, 2024, (3 (90)), С. 85-94.

38. Чміль, А. І., & Лазарюк, К. О. Методи передпосівної обробки насіння кукурудзи в електромагнітному полі. *Енергетика і автоматика*, 2015, (4), С. 227-234.

39. Усенко, С. М. Режими знезаражуючої обробки зернових в сильних електричних полях. *Енергетика і автоматика*, 2015, (4), С. 222-226.
40. Голінько В.І. Основи охорони праці: підручник. М-во освіти і науки України; Нац. гірн. ун-т. 2-ге вид. Д.: НГУ, 2014. 271 с.
41. Селюк, М. М., Потаскалова, В. С. Вплив електромагнітних полів надвисокого діапазону на серцево-судинну систему. *Військова медицина України*, 2010, (10, № 3-4), С. 78-82.
42. Гальчинська, М., Арламов, О. Вплив електромагнітних полів під час роботи на авіаційних підприємствах. *Проблеми охорони праці, промислової та цивільної безпеки*, 2022, С. 52-55.
43. Джигирей В.С. Екологія та охорона навколишнього середовища. К.: Знання, 2000. 203 с
44. 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.