

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ САДІВНИЦТВА
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра Харчових технологій

Допущено до захисту

_____ 20____ р.

Зав. кафедри, к. с.-г. н, доцент

_____ Андрій ЧЕРНЕГА

(підпис)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
МАГІСТРА

ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРВИННОГО ОБРОБЛЕННЯ
ЗЕРНА МАЛОПОШИРЕНИХ ВИДІВ ПШЕНИЦЬ ЗА ОПРОМІНЕННЯ В
ЕЛЕКТРОМАГНІТНОМУ ПОЛІ СТРУМІВ НАДВИСОКОЇ ЧАСТОТИ

Виконав (ла) – студент (ка) II курсу, групи 21 м-тз
освітньої програми Технології зерна та
зернопродуктів
спеціальності 181 «Харчові технології»
Степанський Олександр Вікторович

Науковий керівник – к.т.н., доцент
Новіков Володимир Вікторович

УМАНЬ – 2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ САДІВНИЦТВА

Інженерно-технологічний факультет
Кафедра харчових технологій
Освітня програма Технології зерна та зернопродуктів
Спеціальність 181 Харчові технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Андрій ЧЕРНЕГА

« ____ » _____ 20 ____ р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

студенту Степанському Олександровичу

1. Тема роботи Обґрунтування технології первинного оброблення зерна малопоширених видів пшениць за опромінення в електромагнітному полі струмів надвисокої частоти

керівник роботи Новіков Володимир Вікторович
затверджено наказом по університету від « ____ » _____ 20 ____ р. № _____

2. Строк подання студентом роботи – _____ р.

3. Вихідні дані до роботи Сировина, що передбачена до перероблення - пшениця спельта сорту Голіковська. Методи дослідження - емпіричні та теоретичні. Об'єкт дослідження - технологія зберігання зерна. Предмет дослідження – високоефективні режими зберігання зерна малопоширених видів пшениць.

4. Перелік питань, які потрібно розробити (завдання роботи). Вступ; 1. Огляд джерел літератури; 2. Умови, схема та методика проведення дослідження; 3. результати дослідження; 4. Технологічна частина; 5. Охорона праці, 6. Економічна ефективність, Висновки, Рекомендації виробництву, Список використаних джер.

5. Перелік графічного матеріалу технологічна схема удосконаленої технології

6. Перелік матеріалів для презентації 1. титульний аркуш із зазначенням теми роботи, відомостей про автора та керівника; 2. анотація роботи (викладають та подають іноземною мовою); 3. методика дослідження; 4. результати дослідження (слід подавати у вигляді узагальнюючих таблиць або рисунків); 5. технологічна (приципова) схема удосконаленої технології та/або технологічного процесу; 6. техніко-економічні показники запропонованих технологічних рішень; 7. висновки роботи; 8. рекомендації виробництву.

7. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці			

6. Дата видачі завдання – _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Кінцевий термін виконання етапів	Примітка	
			студент	керівник
1	Вибір теми кваліфікаційної роботи	10.10.2023	виконано	
2	Одержання індивідуального завдання	15.10.2023	виконано	
3	Уточнення теми кваліфікаційної роботи	До початку II семестру	виконано	
4.1	Підготовка першого розділу	До 01.11.2023	на перев.	прийн.
4.2	Підготовка другого розділу	До 01.12.2023	на перев.	прийн.
4.3	Підготовка третього розділу	До 01.06.2024	на перев.	прийн.
4.4	Підготовка четвертого розділу	До 01.07.2024	на перев.	прийн.
4.5	Підготовка п'ятого розділу	До 01.09.2024	на перев.	прийн.
4.6	Підготовка шостого розділу	До 01.10.2024	на перев.	прийн.
5	Формування і оформлення списку використаних джерел літератури; рекомендацій виробництву; висновків	До 01.11.2024	на перев.	прийн.
6	Доопрацювання кваліфікаційної роботи з урахування зауважень наукового керівника	За 2-3 тижні до захисту	на перев.	прийн.
7	Написання та оформлення роботи в остаточному варіанті	Не менш, ніж за 10 днів до попер захисту	виконано	
8	Перевірка роботи на академічний плагіат	Не менш, ніж за 3-4 дні до відгуку	виконано	
9	Одержання відгуку наукового керівника	За 1-2 дні до попереднього захисту	виконано	
10	Попередній захист роботи на кафедрі	1-2 дні перед затвердженням	виконано	
11	Затвердження роботи завідувачем кафедри	Не менше, ніж за 4 робочих дні до захисту	виконано	
12	Одержання рецензії	Не менше, ніж за 3 робочих дні до захисту	виконано	
13	Захист кваліфікаційної роботи		виконано	

Студент _____

Керівник роботи _____

ЗМІСТ

ЗМІСТ.....	3
АНОТАЦІЯ	5
ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ.....	10
1.1. Технологічна оцінка зерна пшениці полби	10
1.2. Теоретичні основи оброблення харчових продуктів в електромагнітному полі струмів надвисокої частоти	11
1.3. Практичне застосування оброблення в ЕП НВЧ.....	13
РОЗДІЛ 2 УМОВИ, СХЕМА ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	15
2.1. Умови проведення дослідження.....	15
2.2. Схема проведення дослідження	15
2.3. Методика проведення досліджень	16
РОЗДІЛ 3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	18
3.1. Вплив параметрів оброблення в ЕП НВЧ на фізичні властивості зерна	18
3.2. Вплив параметрів оброблення на збереженість зерна пшениці полби ..	23
3.3. Обґрунтування раціональних режимів оброблення зерна пшениці полби за використання ЕП НВЧ.....	25
РОЗДІЛ 4 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	27
РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	29
5.1 Організація умов охорони праці на робочому місці	29
5.2 Розроблення заходів з охорони праці	30
5.3 Моделювання небезпечних ситуацій	30

РОЗДІЛ 6 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ	32
ВИСНОВКИ	34
РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ	35
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	36
ДОДАТКИ.....	Ошибка! Закладка не определена.
Додаток А.....	Ошибка! Закладка не определена.
Додаток Б	Ошибка! Закладка не определена.
Додаток В.....	Ошибка! Закладка не определена.

АНОТАЦІЯ

Spelt wheat processing products are in growing demand among consumers. The increased interest in spelt wheat products is associated with the current trend of healthy eating. It is known that food can contain carcinogenic substances, and an imbalance of proteins, fats and carbohydrates is a negative phenomenon for the normal functioning of the body. Modern products, for the most part, do not have a balanced composition of biologically active substances, the deficiency of which in diets can cause the development of diseases, including chronic ones. Nowadays, there is also a noticeable deficiency of trace elements in modern foods. Therefore, products with increased biological value, which are included in modern trends in a healthy lifestyle, are subject to development.

Justification of the research topic.

Spelt wheat has a number of positive characteristics, in particular, it is a safer food product compared to traditional types of wheat due to a lower concentration of heavy metals and carcinogens. Spelt wheat has a higher protein content compared to traditional wheat, reaching 20% or more. Spelt wheat protein is better balanced in terms of chemical composition, in particular in terms of lysine content, which is a limited amino acid for most cereals.

The volume of spelt wheat cultivation is now quite insignificant. There are several prerequisites for this phenomenon. First of all, spelt is inferior to traditional wheat in terms of gross harvest per unit area. Therefore, manufacturers need to take on additional risks associated with the sale of more expensive raw materials. An important factor in the relatively small areas of spelt wheat cultivation is the difficulties in its agro technology and primary processing. Some varieties of spelt wheat have a surface shell (spikelet), which is not separated by traditional methods of harvesting cereals. These features require the use of innovative methods of grain processing. The traditional elevator industry is characterized by significant volumes of grain storage, which makes it impossible to separately place and store individual batches of grain. Therefore, it is expedient to develop effective storage methods that can be used by farms and small agricultural enterprises, which are mainly the largest producers of rare wheat species.

Purpose and objectives of the study.

The aim of the work is to substantiate the rational modes of processing of wheat grain in microwave EP at the stages of drying and disinfection.

Objectives of the study:

- to determine the influence of the processing parameters in the microwave EP of spelt wheat grain on the temperature;
- to determine the influence of the processing parameters of spelt wheat grain in the microwave EP on the acidity indicators during storage;
- to substantiate rational modes of primary processing of spelt wheat using microwave EP.

Object of study.

Grain storage technology

Subject of research.

Modes of drying and additional heat treatment for the purpose of disinfection.

Research methods.

Theoretical, empirical.

Scientific novelty of the results obtained.

For the first time, the influence of microwave EP parameters on the quality and safety of grain of sparsely distributed wheat was investigated on the example of the Golikovskaya variety. The mechanisms of heat energy transmission with minimal loss by means of targeted delivery are described. Rational modes of grain processing in microwave EP have been investigated and scientifically substantiated. Mathematical dependencies of processing processes in microwave EM have been obtained.

Practical significance of the research results obtained.

A schematic diagram of grain storage with the use of additional processing in microwave EP has been developed. The proposed technology is recommended for implementation on small farms practicing the cultivation of grain of rare wheat species.

ВСТУП

Продукти перероблення зерна пшениці полби мають зростаючий попит серед споживачів. Підвищена зацікавленість до продуктів із зерна пшениці спельти пов'язана із актуальним нині трендом здорового харчування. Відомо, що продукти харчування можуть містити канцерогенні речовини, а дисбаланс білків, жирів та вуглеводів є негативним явищем для нормального функціонування організму. Сучасні продукти у своїй більшості не мають збалансованого складу біологічно активних речовин, дефіцит яких у раціонах харчування може бути причиною розвитку захворювань у тому числі хронічних. Нині також помітний дефіцит мікроелементів у сучасних продуктах харчування. Тому розробленню підлягають продукти із підвищеною біологічною цінністю, що входить до сучасних трендів здорового способу життя.

Обґрунтування теми дослідження.

Пшениця спельта володіє низкою позитивних характеристик, зокрема є більш безпечним продуктом харчування порівняно із традиційними видами пшениці за рахунок меншій концентрації важких металів та канцерогенів. Пшениця полба володіє більшим вмістом білка порівняно із традиційними пшеницями, що досягає 20 % і більше. Білок пшениці полби краще збалансовано за хімічним складом, зокрема за вмістом лізину, що для більшості злаків є амінокислотою лімітованою.

Обсяги вирощування пшениці полби нині досить незначні. Цьому явищу є декілька передумов. Першочергово полба поступається традиційним пшеницям за показником валового збору із одиниці площі. Тому виробникам потрібно брати додаткові ризики пов'язані із реалізацією більш дорого вартісної сировини. Важливим чинником відносно не великих площ вирощування пшениці полби є складності в її Агро технології та первинному обробленні. Деякі сорти пшениці полби мають поверхневу оболонку (колоскову) що не відділяється традиційними способами збирання зернових. Вказані особливості вимагають застосування інноваційних способів оброблення зерна. Традиційна елеваторна промисловість характеризується значними об'ємами зберігання зерна, що унеможливорює окремого розміщення та зберігання окремих партій зернових. Тому доцільним є розроблення ефективних методів зберігання, які можуть бути використані

фермерськими господарствами та малими аграрними підприємствами, які в основному є найбільшими виробниками малопоширених видів пшениць.

Мета і завдання дослідження.

Мета роботи – обґрунтувати раціональні режими оброблення в ЕП НВЧ зерна малопоширених пшениць на етапах сушіння та знезаражування.

Завдання дослідження:

- встановити вплив параметрів оброблення в ЕП НВЧ зерна пшениці полби на температуру;
- встановити вплив параметрів оброблення в ЕП НВЧ зерна пшениці полби на показники кислотності під час зберігання;
- обґрунтувати раціональні режими первинного оброблення пшениці полби за використання ЕП НВЧ.

Об'єкт дослідження.

Технологія зберігання зерна

Предмет дослідження.

Режими сушіння та додаткового теплового оброблення з метою знезаражування.

Методи дослідження.

Теоретичні, емпіричні.

Наукова новизна одержаних результатів.

Вперше досліджено вплив параметрів ЕП НВЧ на якість та збереженість зерна малопоширених пшениць на прикладі сорту Голіковська. Описано механізми передачі теплової енергії із мінімальною втратою способами адресного доставлення. Досліджено та науково обґрунтовано раціональні режими оброблення зерна в ЕП НВЧ. Отримані математичні залежності процесів оброблення в ЕП НВЧ.

Практичне значення отриманих результатів досліджень.

Розроблено принципову схему зберігання зерна із застосуванням додаткового оброблення в ЕП НВЧ. Запропонована технологія рекомендована до впровадження на малих фермерських господарствах, що практикують вирощування зерна малопоширених видів пшениць..

Апробація результатів роботи.

Основні твердження, висновки та рекомендації, що наведені в роботі обговорені під час засідання наукового гуртка випускової кафедри.

Публікації.

За результатами роботи опублікована теза доповіді (Додаток А).

РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1. Технологічна оцінка зерна пшениці полби

Зерно пшениці (*Triticum spp.*) відіграє ключову роль у харчовому ланцюзі людства та має величезне історичне значення. Його шлях від первісного вирощування до сучасних систем виробництва свідчить про значущі етапи розвитку агрокультур та взаємовідносини між рослинами та людиною [1].

Зерно пшениці вперше виникло в районі аграрного походження, невідомого точного місця, приблизно 10 тисяч років тому. Початково, людство вирощувало дикорослі види пшениці, здебільшого на Сході Близького Сходу. Перші сільські культури були малими пасовищами, але з часом вони стали основою для постійних поселень [2].

Спільно з розквітом різних цивілізацій, пшениця стала не лише основним продуктом для харчової безпеки, але й символом розквіту та багатства. Завдяки шляхам торгівлі та міграціям, пшениця швидко поширилася через різні регіони Європи, Азії та Африки [3].

В XIX столітті впровадження нових технологій, таких як парова сила та хімічні добрива, змінили обличчя виробництва пшениці. Високоврожайні сорти були розроблені, а системи обробітку полів стали більш механізованими. Це призвело до значного збільшення виробництва та доступності пшениці [4].

Сучасна світова торгівля та глобальні ринки дозволяють пшениці існувати як ключовому гравцеві на світовій арені. Вона стала необхідною складовою харчового ланцюга для мільярдів людей, що її вживають у різних формах, від хліба до макаронних виробів [5].

Пшениця полба є однією з важливих культурних рослин, яка привертає увагу вчених через свої унікальні технологічні властивості [6].

Полба відрізняється від традиційних пшениць генетичною структурою. Геном пшениці полби містить додаткові гени, які визначають специфічні технологічні властивості, такі як вищий вміст білка та амінокислот, що робить її важливою для харчової та технічної областей [7].

Однією з ключових технологічних особливостей пшениці полби є високий вміст білка в зернах. Це робить полбу цінним ресурсом для виробництва високоякісних хлібобулочних виробів та продуктів харчування [8].

Важливою характеристикою є склад амінокислот у білках пшениці полби. Вона містить унікальні амінокислоти, такі як амінокислоти, які сприяють покращенню харчової цінності та поживної цінності продуктів, виготовлених із полби [9].

Пшениця полба володіє високою водопоглинальністю тіста та здатністю до утворення стабільних та еластичних структур. Це робить її популярним вибором для виробництва хлібобулочних виробів з високим вмістом білка [10].

Здатність пшениці полби виростати на різних типах ґрунтів та в умовах обмеженої використання хімічних добрив робить її відмінним вибором для органічного виробництва [11].

Пшениця полба демонструє високу стійкість до екстремальних погодних умов, таких як сухувій та холоди, що робить її надійним і стійким врожаєм в різних агрокліматичних зонах [12].

Таким чином, пшениця полба володіє унікальними технологічними властивостями, які зроблюють її цінною культурою для виробництва високоякісних продуктів харчування та інших технічних застосувань [13].

1.2. Теоретичні основи оброблення харчових продуктів в електромагнітному полі струмів надвисокої частоти

Оброблення продуктів в електромагнітному полі струмів надвисокої частоти (НВЧ) є інноваційним методом, що базується на використанні високочастотних електромагнітних хвиль для теплової обробки. Основними теоретичними засадами цього методу є взаємодія електромагнітних полів з матеріалами різної діелектричної проникності, що дозволяє ефективно нагрівати продукти зсередини. НВЧ-обробка забезпечує рівномірний нагрів, зменшує час приготування та підвищує енергетичну ефективність процесу. Крім того, використання НВЧ для обробки харчових продуктів дозволяє зберегти їхню поживну цінність, знизити втрати вітамінів і мікроелементів, а також мінімізувати ризик мікробіологічного

забруднення. Цей метод має широкий спектр застосування, від розігрівання та приготування їжі до пастеризації та стерилізації харчових продуктів, що робить його перспективним напрямом у галузі харчових технологій [14].

Вплив електромагнітного поля струмів надвисокої частоти (НВЧ) на харчові продукти відкриває нові можливості в галузі харчових технологій. НВЧ-обробка базується на застосуванні високочастотних електромагнітних хвиль, які викликають швидке та рівномірне нагрівання продуктів за рахунок діелектричної поляризації. Це дозволяє не тільки скоротити час приготування, але й зберегти поживні речовини, такі як вітаміни і мінерали, що часто втрачаються при традиційних методах обробки. Крім того, НВЧ-обробка знижує ризик мікробіологічного забруднення, що покращує безпечність харчових продуктів. Завдяки цим перевагам НВЧ-обробка стає все більш популярною для розігрівання, пастеризації та стерилізації харчових продуктів, а також для розробки нових технологій зберігання і обробки їжі [15–17].

Сучасні прилади для обробки продуктів в електромагнітному полі струмів надвисокої частоти (НВЧ) стали важливим інструментом у харчовій промисловості, завдяки своїй здатності забезпечувати швидке і рівномірне нагрівання продуктів. Мікрохвильові печі, найпоширеніший вид НВЧ-приладів, використовуються не тільки для розігрівання, але й для приготування їжі, пастеризації та стерилізації. Спеціалізовані НВЧ-сушарки застосовуються для зневоднення фруктів, овочів, зернових та інших продуктів, зберігаючи їхню поживну цінність. Інноваційні НВЧ-стерилізатори дозволяють швидко і ефективно знищувати патогенні мікроорганізми в харчових продуктах без використання хімічних речовин. Завдяки високій енергоефективності та скороченню часу обробки, сучасні НВЧ-прилади сприяють збереженню вітамінів та мікроелементів у продуктах, підвищуючи їхню якість та безпечність для споживачів [18].

Використання електромагнітного поля струмів надвисокої частоти (НВЧ) для сушіння зерна стає все більш поширеним завдяки ефективності цього методу. Наприклад, у сучасних зерносушарках НВЧ-випромінювання забезпечує швидке та рівномірне видалення вологи з зерна, що зменшує ризик розвитку плісняви та інших мікробіологічних загроз. Такі сушарки використовуються для сушіння

різних видів зернових культур, включаючи пшеницю, кукурудзу та ячмінь. НВЧ-сушіння також дозволяє зберегти важливі поживні речовини і знижує втрати під час обробки, що робить цей метод особливо цінним у аграрній галузі. Крім того, НВЧ-технології використовуються для підготовки зерна до тривалого зберігання, покращуючи його якість і збільшуючи термін придатності. Ці приклади демонструють, що НВЧ-сушіння є перспективним напрямом для підвищення ефективності та якості обробки зернових культур [19–22].

1.3. Практичне застосування оброблення в ЕП НВЧ

Нетипове використання електромагнітного поля струмів надвисокої частоти (НВЧ) знаходить застосування в різних галузях і приносить несподівані результати. Наприклад, НВЧ-технології активно використовуються для видалення вологи з будівельних матеріалів під час реконструкційних робіт, що значно скорочує час на осушення приміщень. У медицині НВЧ випромінювання застосовують для неінвазивного лікування певних типів пухлин, оскільки воно дозволяє цілеспрямовано нагрівати і руйнувати хворі тканини, мінімізуючи вплив на здорові клітини. Також НВЧ використовуються в криміналістиці для швидкого нагрівання і аналізу зразків речовин, що допомагає в ідентифікації наркотиків або вибухових речовин. Ці приклади демонструють, що можливості НВЧ-технологій виходять далеко за межі традиційного використання, відкриваючи нові шляхи для інноваційних рішень у різних сферах [23–25].

Комбінація електромагнітного поля струмів надвисокої частоти (НВЧ) та ультразвукового випромінювання під час оброблення харчових продуктів є передовою технологією, що дозволяє досягти високої ефективності та якості обробки. НВЧ-випромінювання забезпечує швидке та рівномірне нагрівання продуктів, завдяки діелектричній поляризації, що сприяє збереженню поживних речовин. Ультразвук, у свою чергу, викликає кавітаційні процеси, що полегшують проникнення тепла і видалення вологи, а також покращують текстуру та смак продуктів. Комбінація цих методів дозволяє значно скоротити час обробки, знижує енергоспоживання та підвищує безпечність продуктів за рахунок зменшення мікробіологічного забруднення. Таким чином, використання НВЧ та ультразвуку в

харчових технологіях відкриває нові можливості для покращення якості та ефективності оброблення продуктів [26–27].

Використання електромагнітного поля струмів надвисокої частоти (НВЧ) під час сушіння зерна має ряд переваг і недоліків. Серед переваг виділяється швидке та рівномірне видалення вологи, що зменшує ризик розвитку плісняви та мікробіологічного забруднення. НВЧ-сушіння дозволяє зберегти поживні речовини зерна, такі як вітаміни та мінерали, що часто втрачаються при традиційних методах сушіння. Крім того, цей метод є енергоефективним, оскільки потребує менше часу на обробку. Проте існують і недоліки. Основним є висока вартість обладнання, що може стати бар'єром для впровадження у дрібних господарствах. Також НВЧ-сушіння вимагає точного контролю процесу, щоб уникнути перегріву зерна, що може призвести до його пошкодження. Таким чином, хоча НВЧ-технології мають значний потенціал для покращення ефективності сушіння зерна, вони потребують значних інвестицій та ретельного управління [28].

РОЗДІЛ 2 УМОВИ, СХЕМА ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Умови проведення дослідження

Дослідження проведені в умовах лабораторії кафедри харчових технологій та НВВ. Сировина для досліджень вирощена в контрольованих умовах Правобережного лісостепу України. Дослідження проводили в контрольованих умовах.

2.2. Схема проведення дослідження



Рис. 2.1 Схема проведених досліджень

Дослідження проводили відповідно до схеми 2.1. Під час проведення досліджень було виконано два експерименти.

Експеримент 1. Вивчення впливу ЕП НВЧ на температуру зерна. План експерименту наведено у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

План експерименту №1

Фактор	a min	МІН	0	МАКС	a max
Потужність, Вт	264	400	600	800	936
Тривалість оброблення, с	3	10	20	30	37
Початкова вологість, %	12	13	14,5	16	17

Значення кроків наведено із врахуванням положення зіркових точок.

Експеримент №2. Дослідження впливу ЕП НВЧ та режимів зберігання на кислотність зерна. План експерименту наведено у табл. 2.2.

Таблиця 2.1

План експерименту №2

Фактор	a min	МІН	0	МАКС	a max
Потужність, Вт	264	400	600	800	936
Тривалість оброблення, с	3	10	20	30	37
Тривалість зберігання, міс	1	3	6	9	11

2.3. Методика проведення досліджень

Для дослідження використано генератор ЕП НВЧ періодичної дії із можливістю регулювання потужності (Україна). Для дослідів використано зерно із різною початковою вологістю. Досягнення заданої вологості проводили за використання генератора холодного пару із одночасного використання активного вентилування. Тривалість оброблення контролювали електронним секундоміром у поєднанні із механізмом автоматичного вимкнення машини.

Особливості проведення досліду 1. Для аналізу обирали зерно з різною вологістю. Обробляли зерна методом опромінення в електромагнітному полі струмів НВЧ згідно із програмою дослідження. В результаті оброблення одразу визначали температуру за використання пірометра харчового. Вологість визначали загальноприйнятим способом висушування.

Особливості проведення досліду 2. Під час проведення досліду визначали показник кислотності зерна.

Визначення кислотності зерна здійснюється шляхом титрування водного витягу зразка. Для аналізу 10 г подрібненого зерна поміщають у колбу, додають 100 мл дистильованої води, енергійно збовтують і залишають для настоювання протягом 1 години при кімнатній температурі, періодично збовтуючи. Після цього суміш фільтрують, а отриманий фільтрат (витяг) використовують для аналізу. До 50 мл витягу додають 3 краплі фенолфталеїну як індикатора і титрують розчином 0,1 н. NaOH до появи стійкого рожевого забарвлення. Кислотність обчислюють у міліграмах яблучної кислоти на 100 г.

РОЗДІЛ 3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1. Вплив параметрів оброблення в ЕП НВЧ на фізичні властивості зерна

Дія електромагнітного поля полягає на утворенні коливань молекули води, що може перебувати у різних видах зв'язку в об'єкті перероблення. Індикатором дії ЕП НВЧ на зерно можна вважати температуру, що може бути виміряно дистанційно за використання спеціалізованого устаткування. Підвищення температури позитивно впливає на вміст вологи знижуючи його [29]. Тому для вивчення впливу дії ЕП НВЧ обрано показники температури та вологості отриманих зразків.

Результати експерименту наведені у Додатку Б. Табл. Б1. За результатами проведеного статистичного оброблення побудовані гістограми розподілення даних (табл. 3.1, рис. 3.1 – 3.2).

Таблиця 3.1

Результати первинного статистичного оброблення

Температура

Середнє	39,0366	Стандартна похибка (середнього)	0,1572
Середнє LCL 95%	38,728	Середнє UCL 95%	39,3453
Усічене середнє (5%)	39,0409	Середнє геометричне	38,837
Медіана	39	Похибка медіани	0,0079
Стандартне відхилення	3,9291	Дисперсія	15,4376
Діапазон (максимальна відстань)	19,3	Мінімум	29,3
IQR	5,7	Процентиль 25% (Q1)	36,2
Середнє відхилення	3,2185	Абсолютне відхилення від медіани (MAD)	1,3
Сума	24 397,9	Стандартна похибка суми	98,2267
	962		9
Сума квадратів	045,09	Скоригована сума квадратів	633,0509
Другий момент	15,4129	Третій момент	-1,1374
Асиметрія (Фішера)	-0,0188	Асиметрія	-0,0188
Ексцес (Фішера)	-0,5671	Ексцес	2,4278

Вологість

Середнє	12,8288	Стандартна похибка (середнього)	0,0538
Середнє LCL 95%	12,723	Середнє UCL 95%	12,9345
Усічене середнє (5%)	12,8258	Середнє геометричне	12,7577

Медіана	12,83	Похибка медіани	0,0027
Стандартне відхилення	1,3461	Дисперсія	1,8119
Діапазон (максимальна відстань)	5,57	Мінімум	10,11
IQR	1,97	Процентиль 25% (Q1)	11,83
Середнє відхилення	1,1163	Абсолютне відхилення від медіани (MAD)	0,3
Сума	8 017,98	Стандартна похибка суми	33,6516
Сума квадратів	103 991,421	Скоригована сума квадратів	130,6158
Другий момент	1,809	Третій момент	0,0721
Асиметрія (Фішера)	0,0297	Асиметрія	0,0296
Екссес (Фішера)	-0,7795	Екссес	2,2171

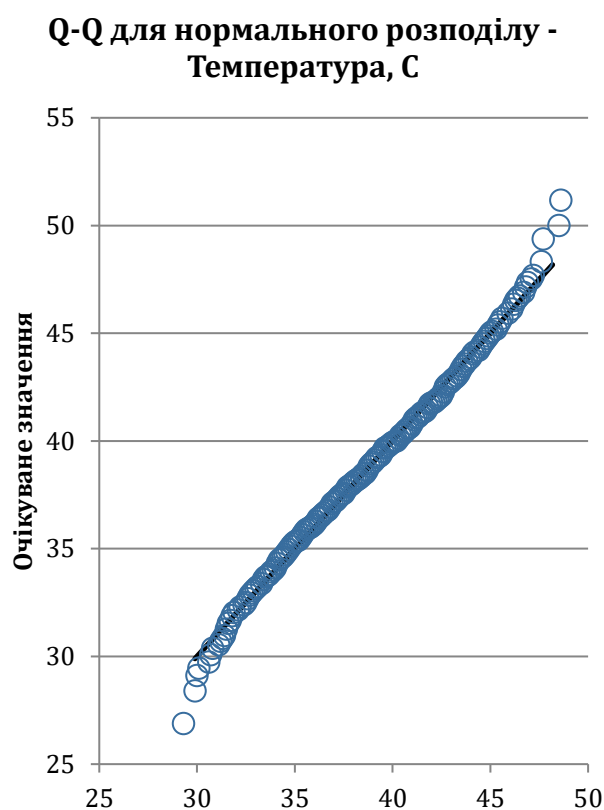
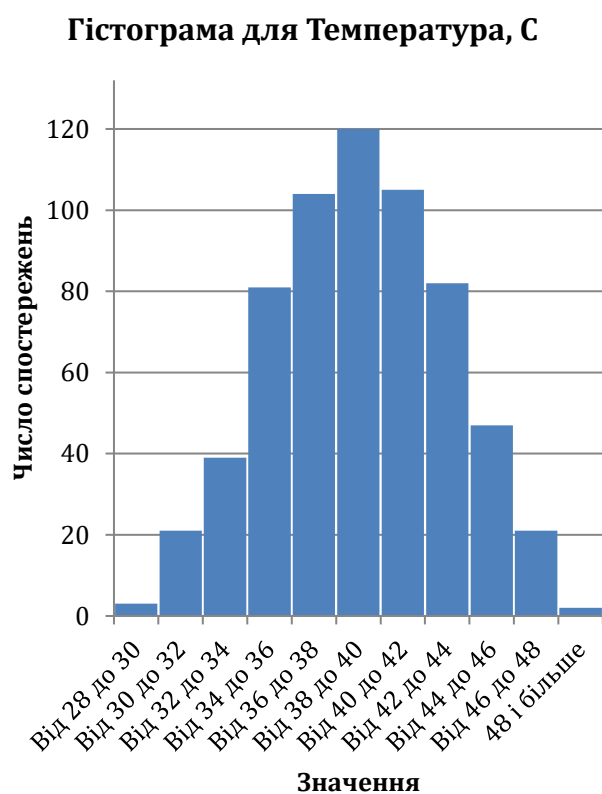


Рис. 3.1 Результати статистичного оброблення даних температури зерна після оброблення в ЕП НВЧ

Згідно із праведним статистичним обробленням використано комплексне оцінювання вибірок даних на тип їх розподілення (таблиця 3.2).

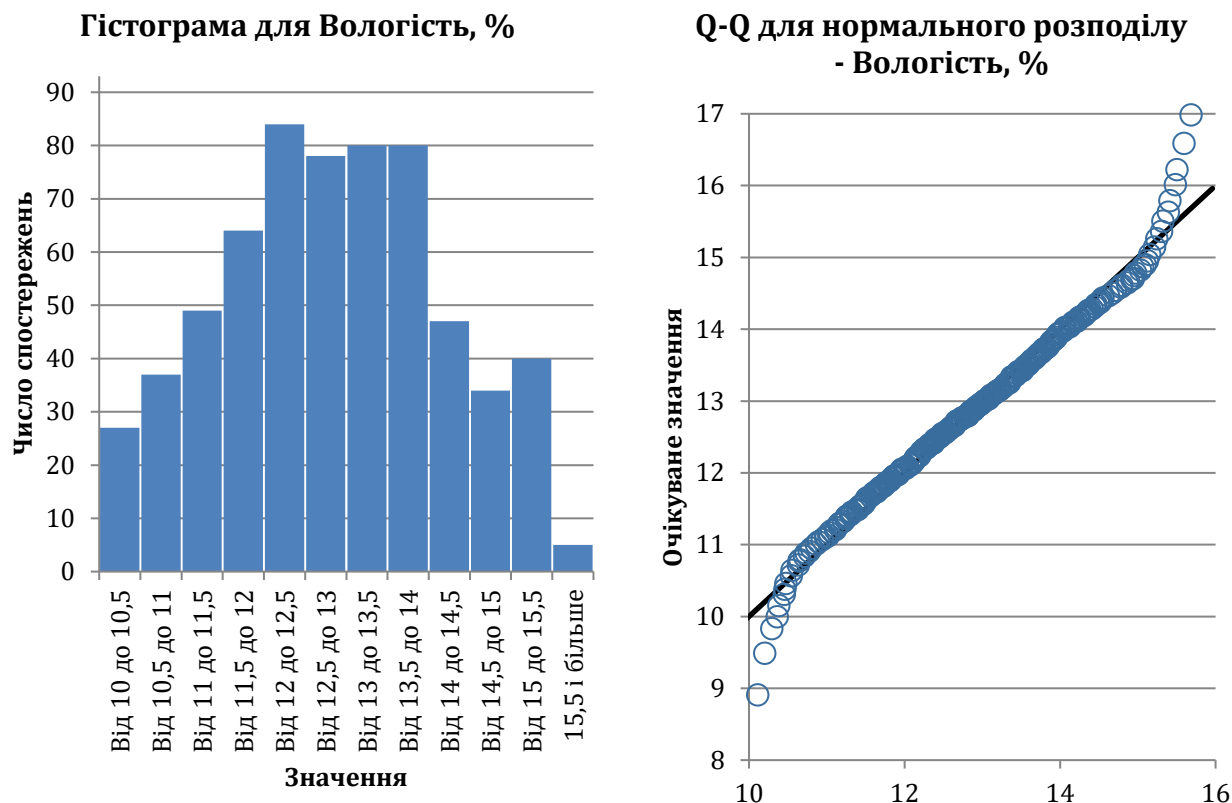


Рис. 3.2 Результати статистичного оброблення даних вологості зерна після оброблення в ЕП НВЧ

Таблиця 3.2

Результати перевірки гіпотези про правильне розподілення даних

Температура

Тест	Значення статистики	p-значення	H0 (5%)
Критерій Шапіро-Уїлка	0,9936	0,0092	відхилена
Шапіро-Франція	0,9947	0,0306	відхилена
Андерсона-Дарлінга	0,7076	0,0645	Не можна відхилити
Крамера-фон Мізеса	0,1041	0,0985	Не можна відхилити
Критерій Колмогорова-Смирнова (Ліліфорса)	0,0829	0,0868	Не можна відхилити
Д'Агостіно Асиметрія	0,1941	0,8461	Не можна відхилити
Д'Агостіно Ексцес	-4,0446	5,2405E-5	відхилена
Д'Агостіно загальне	16,3967	0,0003	відхилена
Жарка-Бера	8,5628	0,0138	відхилена

Вологість

Тест	Значення статистики	p-значення	H0 (5%)
------	---------------------	------------	---------

<i>Критерій Шاپіро-Уїлка</i>	0,9828	1,0336E-6	відхилена
<i>Шاپіро-Франція</i>	0,9846	1,0073E-5	відхилена
<i>Андерсона-Дарлінга</i>	1,5515	0,0005	відхилена
<i>Крамера-фон Мізеса</i>	0,1631	0,016	відхилена
<i>Критерій Колмогорова-Смирнова (Ліліфорса)</i>	0,0794	0,	відхилена Не можна відхилити
<i>Д'Агостіно Асиметрія</i>	0,3058	0,7597	відхилена
<i>Д'Агостіно Екссес</i>	-6,7511	1,4674E-11	відхилена
<i>Д'Агостіно загальне</i>	45,6708	1,2098E-10	відхилена
<i>Жарка-Бера</i>	16,0533	0,0003	відхилена

За результатами дослідження типів розподілення даних прийняли гіпотезу було відхилено. Подальші дослідження проводили із пріоритетним використанням методів непараметричної статистики. Отримано результати трьох факторного дисперсійного аналізу (Додаток Б). Згідно із результатами аналізу встановлено достовірні зв'язки між факторами та цільовими показниками.

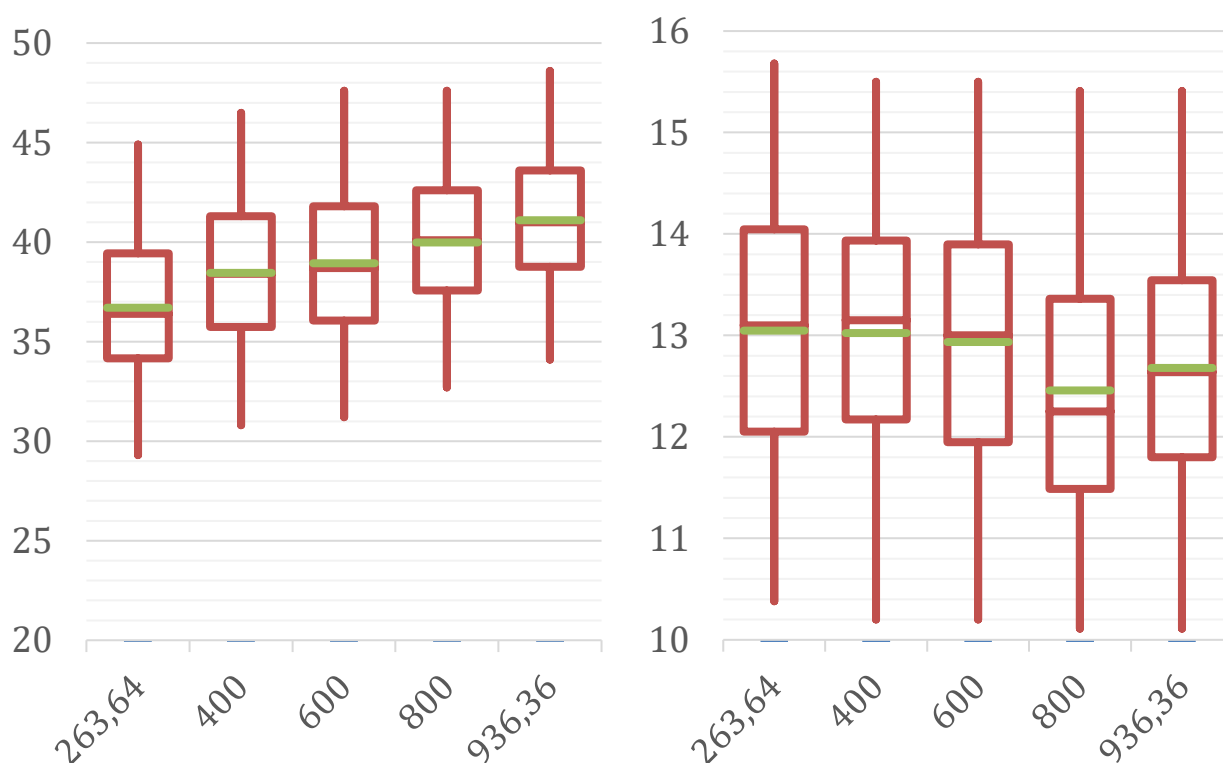


Рис. 3.3 Вплив потужності ЕП НВЧ на фізичні властивості зерна: а – температура;
б – вологість

Збільшення потужності приладу прямо пропорційно збільшувало температуру зразків після оброблення (рис. 3.3). При цьому вологість отриманих зразків знижувалась в середньому на 0,5-1,0 %. Отримані результати дозволяють

припустити можливість використання запропонованого методу оброблення з метою сушіння зерна. Однак застосування високої потужності та тривалої експозиції оброблення може зумовлювати істотне підвищення температури, що є негативним чинником під час технології післязбирального оброблення товарного зерна.

Аналогічну тенденцію зміни температури та вологості спостерігали за збільшення експозиції пропарювання (рис. 3.4).

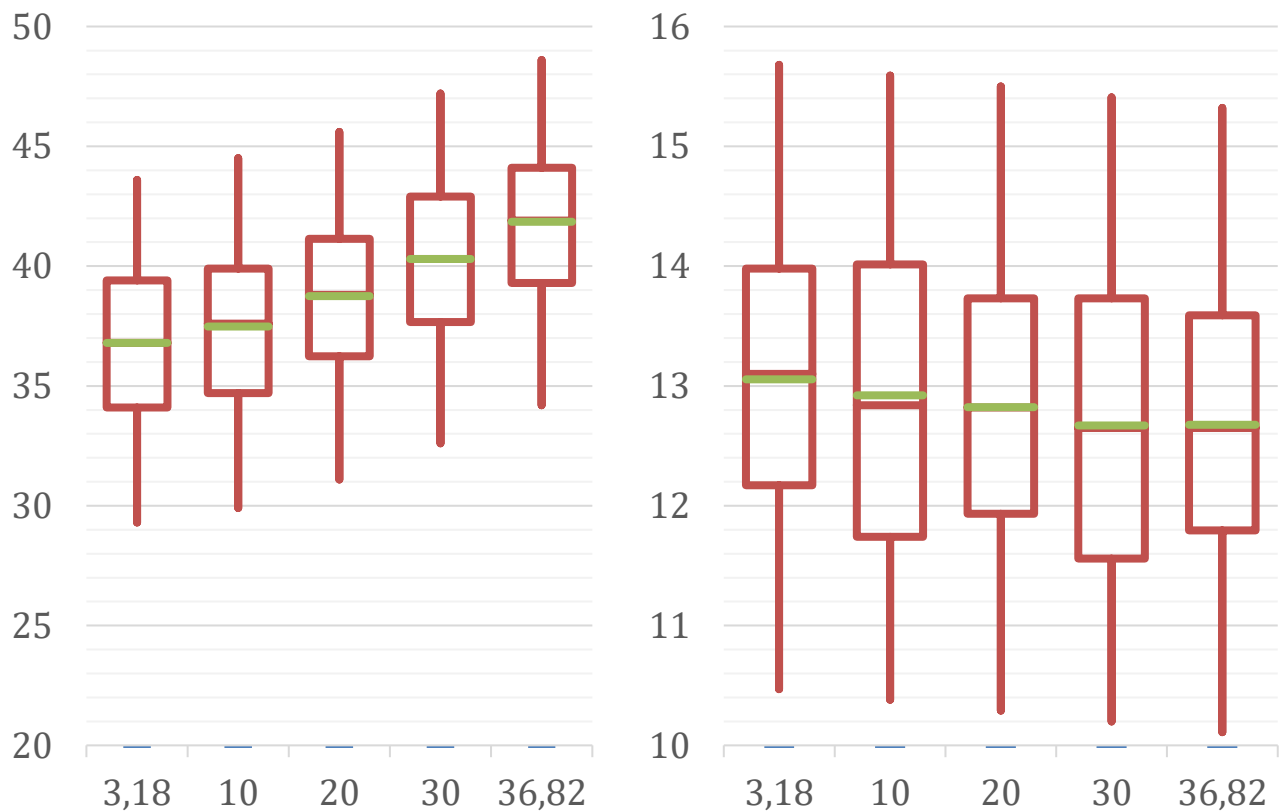


Рис. 3.4 Вплив тривалості впливу ЕП НВЧ на фізичні властивості зерна: а – температура; б – вологість

За оброблення впродовж 10-30 с фіксували збільшення температури до 37-41 С, що дозволяло отримати зразки із зниженим вмістом води в середньому на 0,5-1,0 %.

Достовірного зв'язку між початковою вологістю та температурою отриманого продукту зафіксовано не було (рис. 3.5).

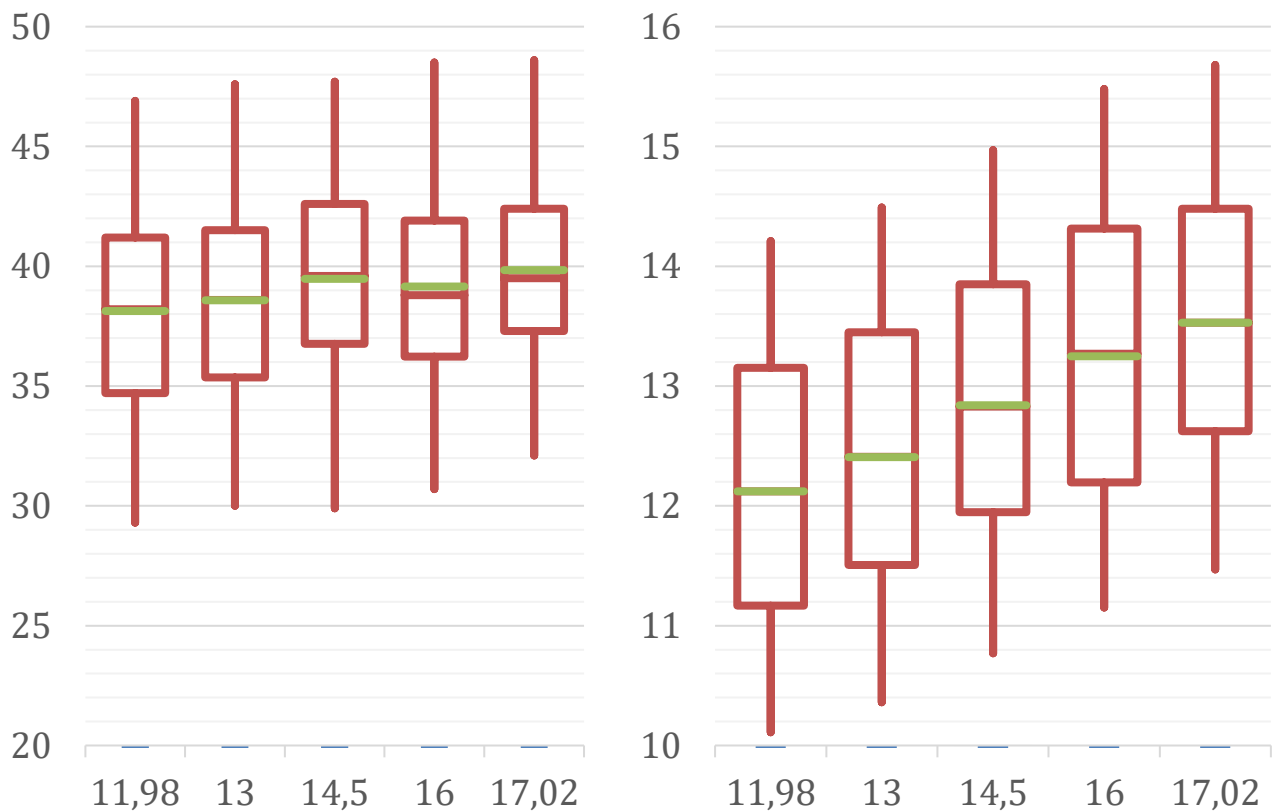


Рис. 3.5 Вплив початкової вологості перед обробленням ЕП НВЧ на фізичні властивості зерна: а – температура; б – вологість

Зразки, що були оброблені із високою початковою вологістю мали вищі показники вологості після оброблення. Відсутність суттєвої різниці у показниках температури під час оброблення зразків із різною початковою вологістю вимагає більш детального вивчення механізму дії електромагнітного поля струмів надвисокої частоти на об'єкти із різною вологістю.

3.2. Вплив параметрів оброблення на збереженість зерна пшениці полби

Під час зберігання зерна або продуктів його перероблення важливим індикатором якості вважають показник кислотності. Кислотність під час зберігання збільшується, що прямо пропорційно корелює із погіршенням поживних характеристик сировини та проміжних продуктів. Застосування методів, які можуть потенційно зменшити показник кислотності є ефективним механізмом подовження тривалості зберігання зерна або продуктів його перероблення [30-32].

Застосування різних режимів оброблення, що відрізнялись за параметром потужності приладу суттєво не впливали на показник кислотності (рис. 3.6).

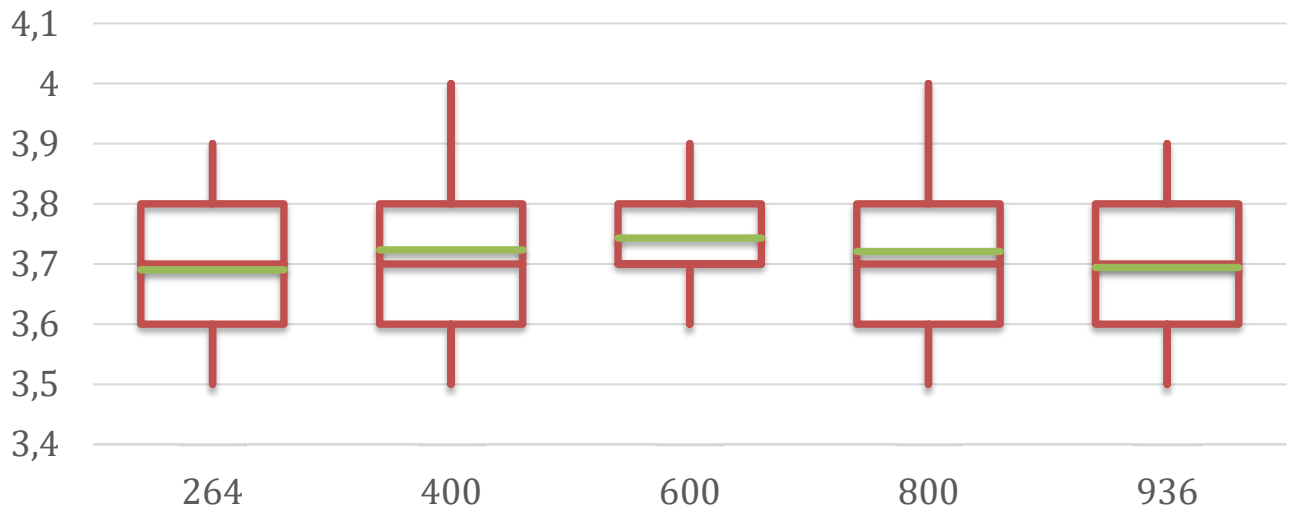


Рис. 3.6 Вплив потужності ЕП НВЧ на показник кислотності

Зміни показника кислотності за використання різної експозиції оброблення від 3 до 20 с в ЕП НВЧ були не суттєвими, проте довготривале оброблення 30 с і більше зумовлювало зменшення показника кислотності на 0,1 град (рис 3.7).

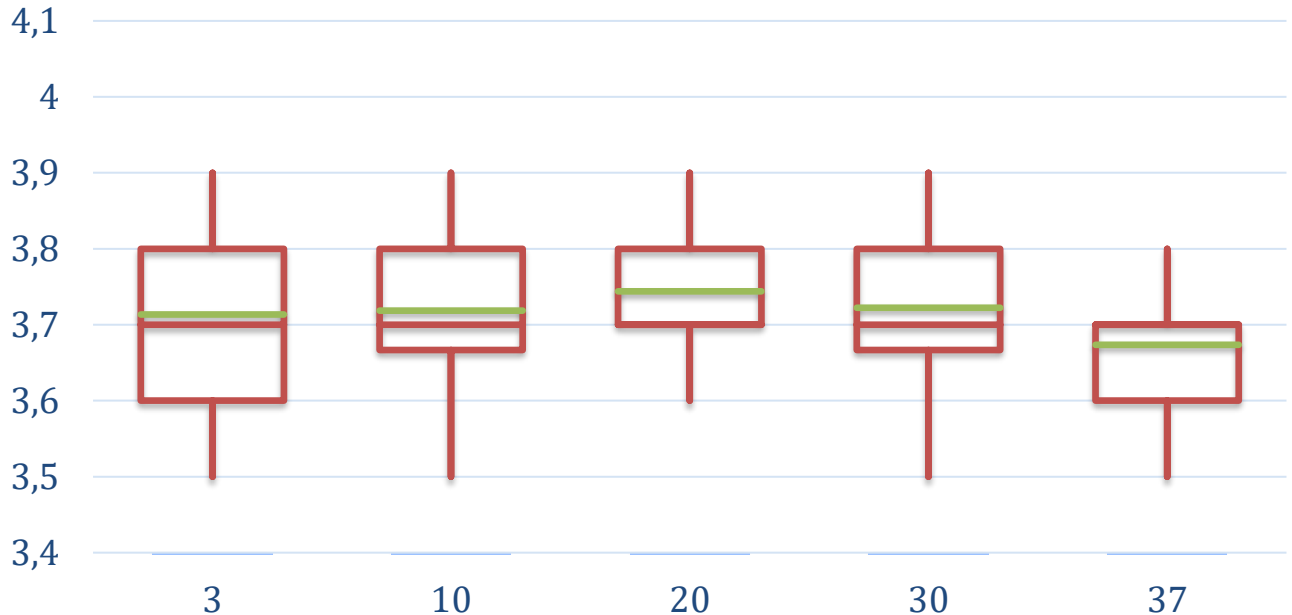


Рис. 3.7 Вплив тривалості ЕП НВЧ на показник кислотності

Найбільший вплив на показник кислотності зумовлював параметр тривалості зберігання. Згідно із програмою досліджень зберігання проводили в умовах наближених до виробництва впродовж 11 місяців. У період із 1 по 3 місяців зберігання суттєвого збільшення показника кислотності не фіксували (рис. 3.8).

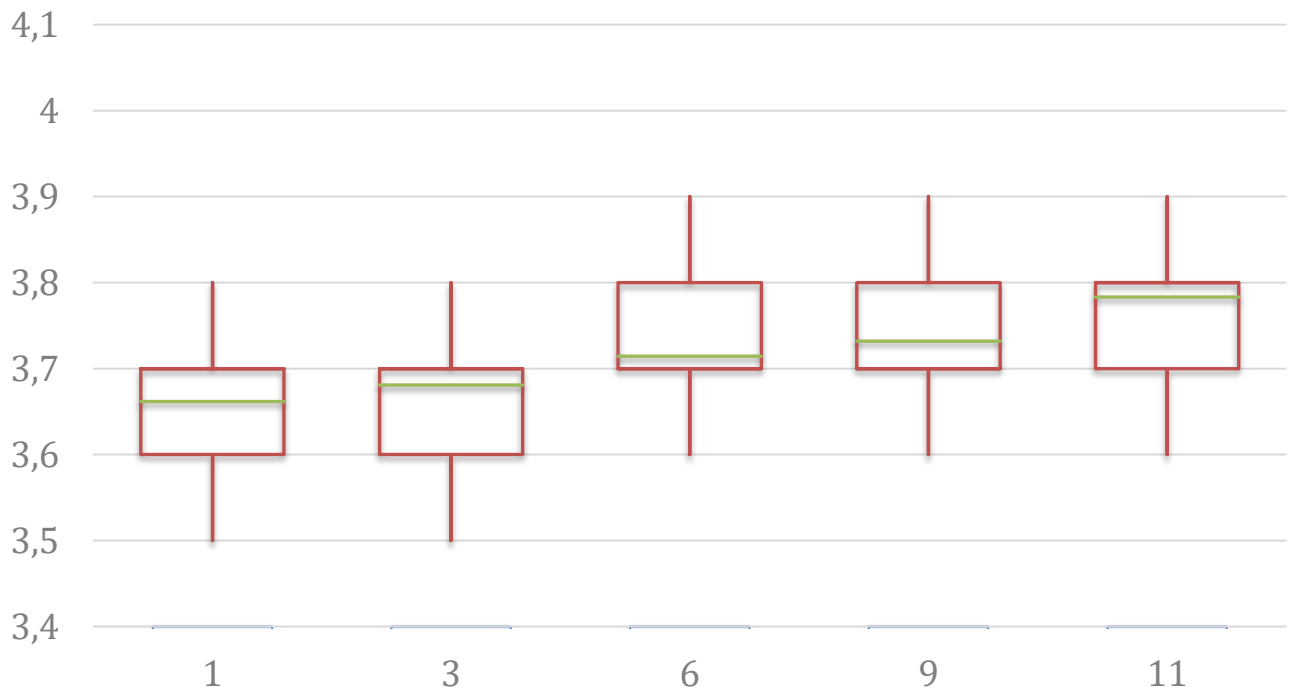


Рис. 3.8 Вплив тривалості зберігання на показник кислотності

За тривалості зберігання 6 місяців і більше фіксували підвищення показника кислотності.

Згідно із отриманими результатами, доведено перспективність застосування технології оброблення в ЕП НВЧ. Помітні зміни відбуваються під час безпосереднього оброблення, що полягають у зміні температури та вологості збіжжя.

3.3. Обґрунтування раціональних режимів оброблення зерна пшениці полби за використання ЕП НВЧ

Згідно із проведеними статистичними аналізами та виявленими залежностями розроблені раціональні режими оброблення зерна в ЕП НВЧ.

Для визначення оптимальних режимів використано узагальнену функцію бажаності. Запропонований метод дозволяє ефективно отримати значення точок екстремуму функції, що узагальнює ефекти цільових значень. Для побудови функції обмежувальними характеристиками була найбільша температура та найменша вологість збіжжя після оброблення.

За результати математичного моделювання побудовано функцію бажаності (рис. 3.9).

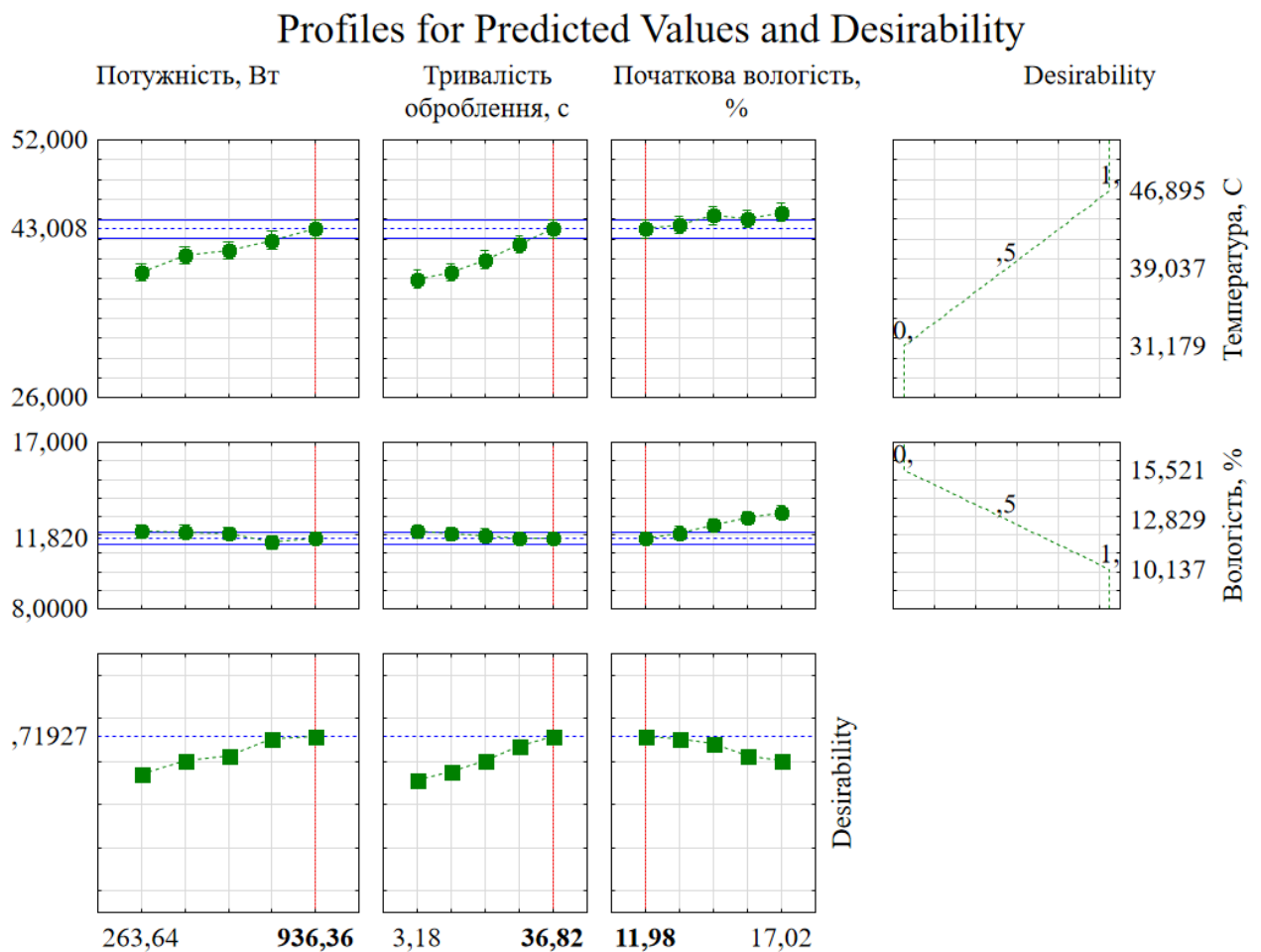


Рис. 3.9. Узагальнена функція бажаності

Згідно із результатами аналізу функції найбільше значення функції бажаності (71%) зафіксовано за максимальної потужності оброблення та експозиції оброблення. Обробляти найкраще збіжжя що досушене до вологості 11-12 %. За такого оброблення можна отримати збіжжя, що матиме вологість на рівні 11,8 %, а його температура становитиме 43 С. Допускається застосовувати меншу потужність (800 Вт), що суттєво не впливатиме на показник функції бажаності. Зменшення потужності є недоцільним, оскільки значення узагальненої функції стрімко зменшуватиметься. Оброблення надмірно зволоженого зерна недоцільно, оскільки отриманий продукт володітиме надлишковою вологою, що є негативним чинником під час довготривалого зберігання.

РОЗДІЛ 4 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

Ефективне зберігання зернових може бути забезпечено сучасними механізованими комплексами елеваторного типу. Особливістю сучасних елеваторів є високий рівень їх автоматизації та можливість керування та моніторингу технологічних процесів дистанційно.

Типова схема елеватора була удосконалена із врахуванням результатів наукових досліджень, що наведені у 3-му розділі цієї роботи (рис. 4.1).

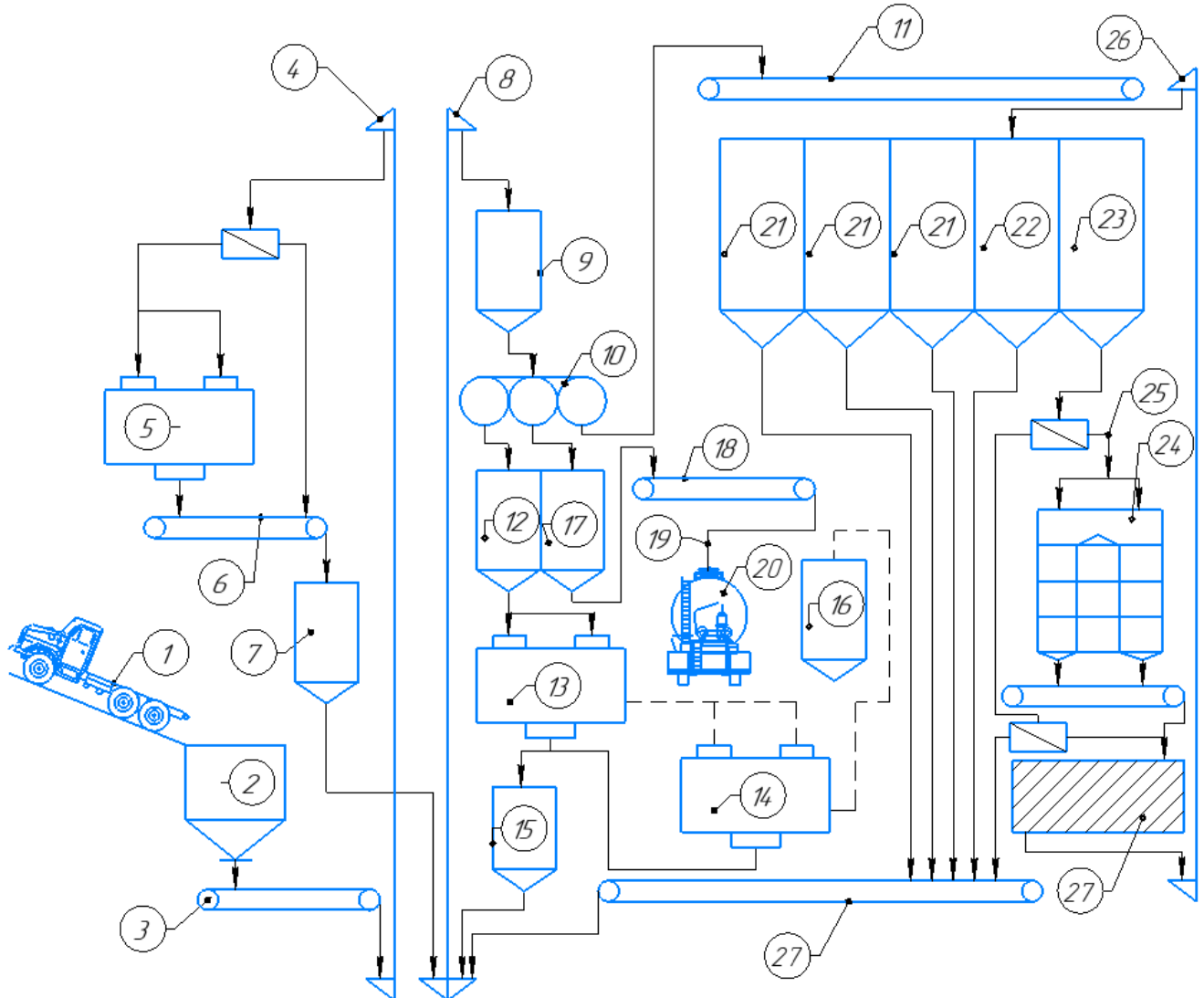


Рис. 4.й Технологічна схема елеватора із застосуванням технології оброблення зерна в ЕП НВЧ

Відмінність запропонованих рішень полягає у використанні етапу опромінення висушеного та охолодженого зерна в електромагнітному полі струмів надвисокої частоти. Згідно із отриманими результатами етап опромінення не може

бути аналогом традиційного сушіння. Збільшення експозиції оброблення або потужності приладу не раціональне оскільки існує ймовірність суттєвого підвищення температури, що є негативним під час оброблення товарного збіжжя.

Схема елеватора включає стандартні та типові процеси приймання зерна (1, 2, 3). На елеваторі передбачено лінію попереднього (5) та додаткового (13, 14) очищення зерна.

Лінія сушіння передбачає два етапи нагрівання та один охолодження. Після цього збіжжя може бути додатково оброблене в пристрої ЕП НВЧ (27). Пристрій укомплектовано охолоджувальною колонкою. За умови використання пристрою без охолоджувальної колонки потрібно передбачати додаткове укомплектування таким пристроєм лінію. В подальшому удосконалення технології та устаткування для оброблення в ЕП НВЧ дозволить інтегрувати відповідний процес на етапі сушіння зерна.

Зберігання зернових рекомендовано згідно із традиційними регламентами. Зменшення рівня заражуваності та інтенсивності дихання у результаті оброблення а ЕП НВЧ нині вивчено не достатньо.

РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ

Питання охорони праці нині стоїть особливо гостро. Більшість із вітчизняних підприємств харчової промисловості мають низький рівень механізації та роботизації виробничих процесів. Тому на підприємствах залучена значна частка обслуговуючого персоналу та робітників. Окремі технологічні операції вимагають високого рівня компетентності працівників, що зумовлює їх вагомість для нормального функціонування підприємства. Втрата працездатності працівника є негативним явищем для підприємства, що супроводжено суттєвими фінансовими втратами. Тому забезпечення безпечних та комфортних умов праці на підприємствах є пріоритетним завданням.

5.1 Організація умов охорони праці на робочому місці

Для дослідження обрано лабораторію елеваторного комплексу. Загальна площа виробничої лабораторії становить 86,2 м². Лабораторія займається ідентифікацією фізико-хімічних показників якості зерна та відходів виробництва. В лабораторії працює щозмінно два лаборанти та завідувач лабораторії. Лабораторія обладнана системою припливно-витяжної вентиляції та автономним опаленням. Згідно із специфікою роботи лабораторії, передбачено використання хімічних реактивів, які розміщені та зберігаються в спеціальному організованому місці. Під час проведення дослідження були виявлені суттєві порушення вимог чинних нормативних актів, що вимагають термінового усунення.

Мікроклімат приміщення лабораторії перевірено згідно із вимог ДСН 3.3.6.042-99; ГОСТ 12.1.005-88. Порушень вимог нормативних актів не виявлено.

Під час перевірки повітря робочої зони були виявлені порушення вимог ГОСТ 12.1.005-88:

- перевищення концентрації сульфатної кислоти (фактичне значення – 34 мг/м³, норма – 20 мг/м³)
- перевищення концентрації натрію сульфату (фактичне значення – 15 мг/м³, норма – 10 мг/м³)
- перевищення концентрації етилового спирту (фактичне значення – 1234 мг/м³, норма – 1000 мг/м³)

Виявлені порушення ДБН В.2.5-28-2006, зокрема освітлення організовано нерівномірно. На робочих місцях зафіксовано недостатнє освітлення.

Порушень вимог пожежної безпеки не виявлено.

Електробезпека організована із порушеннями, зокрема більшість технологічного устаткування не мають заземлення.

Згідно із висновками дослідження, рекомендовано розробити заходи із охорони праці та терміново впровадити на виробництві.

5.2 Розроблення заходів з охорони праці

Ідентифіковані порушення у більшій мірі пов'язані із помилками організації робочого процесу. Для проведення хімічних досліджень не відведено окремого місця, що обладнано системами вентилявання повітря. Тому під час проведення досліджень значна частка реактивів насичує виробниче середовища. Для усунення виявленого недоліку рекомендовано організувати спеціально облаштоване місце для проведення аналізів із використання хімічних речовин.

Для покращення освітлення робочого місця рекомендовано провести реорганізацію та модернізацію системи освітлення із використанням новітніх засобів. Запропоновані рішення не збільшують навантаження на систему, проте за рахунок більшої ефективності, освітлення робочого місця суттєво збільшується та відповідає вимогам чинних норм.

Використання енергоустаткування без діючого контуру заземлення не дозволяється. Тому виявлений недолік слід усунути шляхом модернізації енергосистеми підприємства.

5.3 Моделювання небезпечних ситуацій

У зв'язку із наявністю порушень вимог охорони праці на підприємстві суттєво підвищується ризик виробничого травматизму.

За результатами перевірки змодельовано небезпечну ситуацію (рис. 5.1).

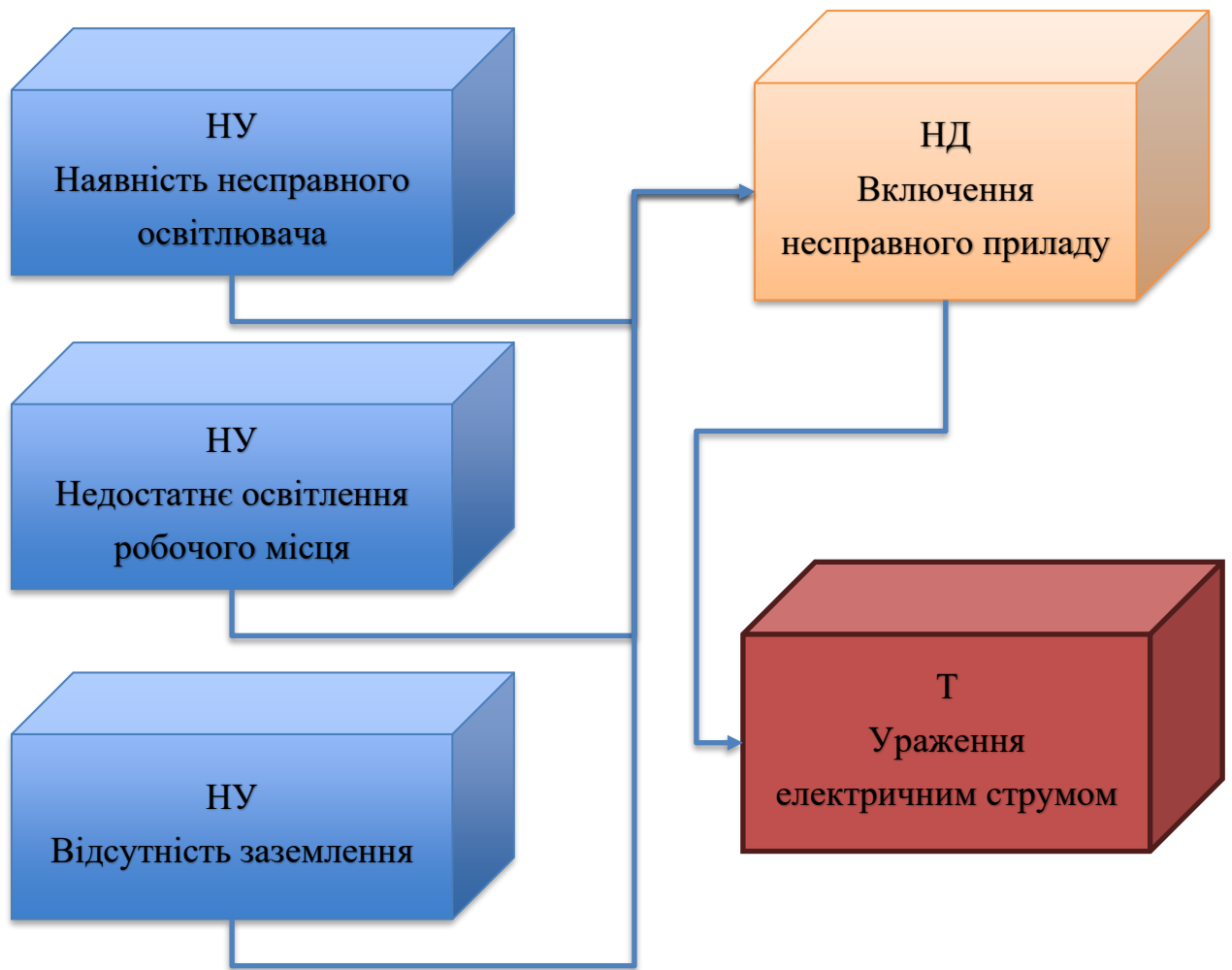


Рис. 5.1 Модель небезпечної ситуації

Отже, наявність порушень вимог нормативів із охорони праці є негативним явищем на підприємстві, оскільки суттєво збільшує ризик виробничого травматизму. Виконання в короткі терміни рекомендацій, що наведені в цій роботі дозволить суттєво підвищити ефективність роботи підприємства та знизити ризики, пов'язані із втратою працездатності.

РОЗДІЛ 6 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ

Економічну флективність розраховану на прикладі елеватора із місткістю для зберігання 26 000 т. Для елеваторної промисловості ключовими сферами прибутку є транспортування, дороблення та зберігання збіжжя. Зі збільшенням ємностей для зберігання, загальна ефективність підприємства збільшується. Для розрахунку обрано елеватор, місткості якого дозволяють ефективно зберігати зерно пшениці полби широкого агрономічного кластеру. Проектування елеватора більшої місткості для зберігання пшениці полби наразі є неможливим, що зумовлено не великими посівними площами цієї культури та суттєво меншими показниками врожайності у порівнянні із класичними видами пшениць.

Щоб вийти на високі економічні показники, в програмі діяльності підприємства були закладені ціни на надання послуг із дороблення, транспортування та зберігання зерна вищі за аналогічні у регіоні. Це зумовлено високою відпускнуою ціною на зерно пшениці полби та можливістю закладення таких цін у собівартість збіжжя.

Детальний розрахунок економічних показників наведено у Додатку В. Зведені показники представлені у таблиці 6.1.

Таблиця 6.1

Техніко-економічні показники ефективності будівництва підприємства

Показник	Розмірна одиниця	Значення
Прибуток від надання послуг	тис. грн/рік	18625,04
Рівень рентабельності продукції	%	42,72
Витрати на 1 грн товарної продукції	-	0,71
Рівень продуктивності праці	т/чол	6062,49
Показник фондівдачі	-	0,39
Чистий прибуток	тис. грн/рік	14900,032
Термін окупності	рік	3,6

Згідно із проведеними розрахунками підтверджено економічну ефективність впровадження технологій оброблення ЕП НВЧ зерна полби. Термін окупності

основних фондів складає середньострокову перспективу та становить 3,6 роки. Рівень рентабельності є типовим для підприємств елеваторного господарства та становить 42,72 %. Чистий прибуток в рік становить 14,9 млн грн.

Підвищення показників ефективності підприємства можливе за збільшення місткостей для зберігання, в тому числі за використання інноваційних методів, зокрема зберігання у полімерних рукавах.

ВИСНОВКИ

Встановлено вплив параметрів оброблення пшениці полби в ЕП НВЧ на показники температури. Збільшення потужності та експозиції оброблення зумовлювало підвищення температури до 40 і більше градусів. Оброблення зразків різної вологості суттєвого впливу на показник температури не зумовлювало. Вологість збіжжя після оброблення зерна в ЕП НВЧ зменшувалась в середньому на 0,2-0,4 %, проте суттєвого зниження вологості за використання оброблення впродовж 30-40 с не було зафіксовано.

Встановлено дію ЕП НВЧ на стан збереженості зерна впродовж періоду зберігання до 11 місяців. Доведено, що найбільші зміни відбуваються із збіжжям у результаті тривалості зберігання. За оброблення в ЕП НВЧ спостерігалось зменшення показника кислотності.

Раціональними режимами оброблення зерна в ЕП НВЧ з метою покращення його зберігання є витримування зерна не менше 30 с за потужності приладу не менше 800 Вт. Оброблення рекомендовано для досушеного зерна до вологості 11-12 %. Дозволяється обробляти збіжжя із вологістю до 14 % (для зерна пшениці полби) з метою покращення показників товарної якості під час зберігання. Ефективне зберігання зерна впродовж 3-4 місяців. Подальше зберігання зумовлює зменшення споживчої якості збіжжя.

РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

Під час дороблення зерна пшениці полби рекомендовано використовувати традиційні технології елеваторної промисловості із їх удосконаленням за рахунок інтегрування процесу оброблення в ЕП НВЧ. Опромінення слід використовувати після процесу сушіння. Не допускається оброблення зерна в ЕП НВЧ за вологості до 14 %. Налаштовувати оброблення зерна слід за встановлення потужності не менше 800 Вт за експозиції оброблення впродовж 30 с.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Levy AA, Feldman M. Evolution and origin of bread wheat. *Plant Cell*. 2022 Jul 4;34(7):2549-2567. doi: 10.1093/plcell/koac130. PMID: 35512194; PMCID: PMC9252504.
2. Asuke S, Umehara Y, Inoue Y, Vy TTP, Iwakawa M, Matsuoka Y, Kato K, Tosa Y. Origin and Dynamics of Rwt6, a Wheat Gene for Resistance to Nonadapted Pathotypes of *Pyricularia oryzae*. *Phytopathology*. 2021 Nov;111(11):2023-2029. doi: 10.1094/PHYTO-02-21-0080-R. Epub 2021 Nov 14. PMID: 34009007.
3. Rehman A, Farooq M, Nawaz A, Al-Sadi AM, Al-Hashmi KS, Nadeem F, Ullah A. Characterizing bread wheat genotypes of Pakistani origin for grain zinc biofortification potential. *J Sci Food Agric*. 2018 Oct;98(13):4824-4836. doi: 10.1002/jsfa.9010. Epub 2018 May 4. PMID: 29542137.
4. Guo W, Xin M, Wang Z, Yao Y, Hu Z, Song W, Yu K, Chen Y, Wang X, Guan P, Appels R, Peng H, Ni Z, Sun Q. Origin and adaptation to high altitude of Tibetan semi-wild wheat. *Nat Commun*. 2020 Oct 8;11(1):5085. doi: 10.1038/s41467-020-18738-5. PMID: 33033250; PMCID: PMC7545183.
5. Haider N. The origin of the B-genome of bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Genetika*. 2013 Mar;49(3):303-14. doi: 10.7868/s0016675813030077. PMID: 23755530.
6. Dvorak J, Deal KR, Luo MC, You FM, von Borstel K, Dehghani H. The origin of spelt and free-threshing hexaploid wheat. *J Hered*. 2012 May-Jun;103(3):426-41. doi: 10.1093/jhered/esr152. Epub 2012 Feb 29. PMID: 22378960.
7. Sun L, Song R, Wang Y, Wang X, Peng J, Nevo E, Ren X, Sun D. New insights into the evolution of CAF1 family and utilization of TaCAF1Ia1 specificity to reveal the origin of the maternal progenitor for common wheat. *J Adv Res*. 2022 Dec;42:135-148. doi: 10.1016/j.jare.2022.04.003. Epub 2022 Apr 13. PMID: 36513409; PMCID: PMC9788937.
8. Zhao H, Guo B, Wei Y, Zhang B. Effects of wheat origin, genotype, and their interaction on multielement fingerprints for geographical traceability. *J Agric Food Chem*. 2012 Nov 7;60(44):10957-62. doi: 10.1021/jf3021283. Epub 2012 Oct 24. PMID: 23057662.

9. Zhang L, He C, Lai Y, Wang Y, Kang L, Liu A, Lan C, Su H, Gao Y, Li Z, Yang F, Li Q, Mao H, Chen D, Chen W, Kaufmann K, Yan W. Asymmetric gene expression and cell-type-specific regulatory networks in the root of bread wheat revealed by single-cell multiomics analysis. *Genome Biol.* 2023 Apr 4;24(1):65. doi: 10.1186/s13059-023-02908-x. PMID: 37016448; PMCID: PMC10074895.
10. Zhao H, Guo B, Wei Y, Zhang B, Sun S, Zhang L, Yan J. Determining the geographic origin of wheat using multielement analysis and multivariate statistics. *J Agric Food Chem.* 2011 May 11;59(9):4397-402. doi: 10.1021/jf200108d. Epub 2011 Apr 14. PMID: 21466235.
11. Cavanna D, Loffi C, Dall'Asta C, Suman M. A non-targeted high-resolution mass spectrometry approach for the assessment of the geographical origin of durum wheat. *Food Chem.* 2020 Jul 1;317:126366. doi: 10.1016/j.foodchem.2020.126366. Epub 2020 Feb 13. PMID: 32087513.
12. Shen Y, Li B, Li G, Lang C, Wang H, Zhu J, Jia N, Liu L. Rapid identification of producing area of wheat using terahertz spectroscopy combined with chemometrics. *Spectrochim Acta A Mol Biomol Spectrosc.* 2022 Mar 15;269:120694. doi: 10.1016/j.saa.2021.120694. Epub 2021 Dec 9. PMID: 34922288.
13. Zhao H, Guo B, Wei Y, Zhang B. Near infrared reflectance spectroscopy for determination of the geographical origin of wheat. *Food Chem.* 2013 Jun 1;138(2-3):1902-7. doi: 10.1016/j.foodchem.2012.11.037. Epub 2012 Nov 17. PMID: 23411323.
14. Nithiyanantham S, Kalaiselvi P, Mahomoodally MF, Zengin G, Abirami A, Srinivasan G. Nutritional and functional roles of millets-A review. *J Food Biochem.* 2019 Jul;43(7):e12859. doi: 10.1111/jfbc.12859. Epub 2019 Apr 14. PMID: 31353706.
15. Tosh SM, Chu Y. Systematic review of the effect of processing of whole-grain oat cereals on glycaemic response. *Br J Nutr.* 2015 Oct 28;114(8):1256-62. doi: 10.1017/S0007114515002895. Epub 2015 Sep 2. PMID: 26330200.
16. Xie H, Ying R, Tang Z, Wu C, Huang M. Effects of cereal grain cell wall composition and structure on starch digestion. *J Sci Food Agric.* 2023 Sep;103(12):5831-5838. doi: 10.1002/jsfa.12666. Epub 2023 May 11. PMID: 37185988.
17. Noor H, Sun M, Algwaiz HIM, Sher A, Fiaz S, Attia KA, Wani SH, AlKahtani MDF, Husnain LA, Lin W, Gao Z. Chlorophyll fluorescence and grain filling

characteristic of wheat (*Triticum aestivum* L.) in response to nitrogen application level. *Mol Biol Rep.* 2022 Jul;49(7):7157-7172. doi: 10.1007/s11033-022-07612-w. Epub 2022 Jun 20. PMID: 35723800.

18. Eliopoulos C, Arapoglou D, Chorianopoulos N, Markou G, Haroutounian SA. Conversion of brewers' spent grain into proteinaceous animal feed using solid state fermentation. *Environ Sci Pollut Res Int.* 2022 Apr;29(20):29562-29569. doi: 10.1007/s11356-021-15495-w. Epub 2021 Jul 23. PMID: 34302241.

19. Meriles SP, Steffolani ME, Penci MC, Curet S, Boillereaux L, Ribotta PD. Effects of low-temperature microwave treatment of wheat germ. *J Sci Food Agric.* 2022 Apr;102(6):2538-2544. doi: 10.1002/jsfa.11595. Epub 2021 Nov 6. PMID: 34687455.

20. Kłosowski G, Mikulski D, Bhagwat P, Pillai S. Cellulosic Ethanol Production Using Waste Wheat Stillage after Microwave-Assisted Hydrotropic Pretreatment. *Molecules.* 2022 Sep 18;27(18):6097. doi: 10.3390/molecules27186097. PMID: 36144825; PMCID: PMC9506164.

21. Khuntia A, Panda BK, Shrivastava SL. Effect of pulsating microwave treatment on wheat parboiling: Comparative assessment and structural characterization. *Food Chem.* 2022 Jan 15;367:130694. doi: 10.1016/j.foodchem.2021.130694. Epub 2021 Jul 26. PMID: 34359007.

22. Padalino L, Del Nobile MA, la Gatta B, Rutigliano M, Di Luccia A, Conte A. Effects of microwave treatment of durum wheat kernels on quality characteristics of flour and pasta. *Food Chem.* 2019 Jun 15;283:454-461. doi: 10.1016/j.foodchem.2019.01.027. Epub 2019 Jan 14. PMID: 30722897.

23. Dolińska R, Warchalewski JR, Gralik J, Jankowski T. Effect of gamma-radiation and microwave heating of wheat grain on some starch properties in irradiated grain as well as in grain of the next generation crops. *Nahrung.* 2004 Jun;48(3):195-200. doi: 10.1002/food.200300380. PMID: 15285110.

24. Zhao X, Wang W, Liu H, Ma C, Song Z. Microwave pyrolysis of wheat straw: product distribution and generation mechanism. *Bioresour Technol.* 2014 Apr;158:278-85. doi: 10.1016/j.biortech.2014.01.094. Epub 2014 Jan 31. PMID: 24607465.

25. Błaszczak W, Gralik J, Klockiewicz-Kamińska E, Fornal J, Warchalewski JR. Effect of gamma-radiation and microwave heating on endosperm microstructure in relation to some technological properties of wheat grain. *Nahrung*. 2002 Apr;46(2):122-9. doi: 10.1002/1521-3803(20020301)46:2<122::AID-FOOD122>3.0.CO;2-J. PMID: 12017989.
26. Zhao X, Wang W, Liu H, Ma C, Song Z. Microwave pyrolysis of wheat straw: product distribution and generation mechanism. *Bioresour Technol*. 2014 Apr;158:278-85. doi: 10.1016/j.biortech.2014.01.094. Epub 2014 Jan 31. PMID: 24607465.
27. Gianfrani C, Mamone G, la Gatta B, Camarca A, Di Stasio L, Maurano F, Picascia S, Capozzi V, Perna G, Picariello G, Di Luccia A. Microwave-based treatments of wheat kernels do not abolish gluten epitopes implicated in celiac disease. *Food Chem Toxicol*. 2017 Mar;101:105-113. doi: 10.1016/j.fct.2017.01.010. Epub 2017 Jan 12. PMID: 28088490.
28. Qiu Z, Li J, Zhang Y, Bi Z, Wei H. Microwave pretreatment can enhance tolerance of wheat seedlings to CdCl₂ stress. *Ecotoxicol Environ Saf*. 2011 May;74(4):820-5. doi: 10.1016/j.ecoenv.2010.11.008. Epub 2010 Dec 9. PMID: 21145593.
29. Dhua S, Kheto A, Singh Sharanagat V, Singh L, Kumar K, Nema PK. Quality characteristics of sand, pan and microwave roasted pigmented wheat (*Triticum aestivum*). *Food Chem*. 2021 Dec 15;365:130372. doi: 10.1016/j.foodchem.2021.130372. Epub 2021 Jun 16. PMID: 34218111.
30. Dhua S, Kheto A, Singh Sharanagat V, Singh L, Kumar K, Nema PK. Quality characteristics of sand, pan and microwave roasted pigmented wheat (*Triticum aestivum*). *Food Chem*. 2021 Dec 15;365:130372. doi: 10.1016/j.foodchem.2021.130372. Epub 2021 Jun 16. PMID: 34218111.
31. Jackowiak D, Bassard D, Pauss A, Ribeiro T. Optimisation of a microwave pretreatment of wheat straw for methane production. *Bioresour Technol*. 2011 Jun;102(12):6750-6. doi: 10.1016/j.biortech.2011.03.107. Epub 2011 Apr 7. PMID: 21524906.

32. Lu HH, Zhou JC, Yan D, Zhao SM, Xiong SB. Effects of microwave radiation and conductive heating on *Tribolium castaneum* microstructure. *Micron*. 2011 Jan;42(1):36-41. doi: 10.1016/j.micron.2010.08.005. Epub 2010 Aug 22. PMID: 20837396.

