

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

ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ ТЕПЛООВОГО ОБРОБЛЕННЯ ЗЕРНА
ПШЕНИЦІ ПОЛБИ ЗА ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ АДРЕСНОЇ
ДОСТАВКИ ЕНЕРГІЇ

Виконав – студент II курсу, групи 21 м-з-тз
освітньої програми Технології зерна та
зернопродуктів
спеціальності 181 «Харчові технології»
Сновида Руслан Юрійович

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

УМАНЬ – 2023

ЗМІСТ

ЗМІСТ.....	3
АНОТАЦІЯ	5
ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ.....	11
1.1. Технологічні властивості пшениці полби	11
1.2. Круп'яна промисловість. Загальна характеристика та перспективи розвитку.....	12
1.3. Основні технологічні процеси виробництва крупів	13
РОЗДІЛ 2 УМОВИ, СХЕМА ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	16
2.1. Умови проведення дослідження.....	16
2.2. Схема проведення дослідження	16
2.3. Методика проведення досліджень	17
РОЗДІЛ 3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	19
3.1. Результати первинного статистичного оброблення.....	19
3.2. Вихід крупи й супутніх продуктів за різних режимів оброблення	24
3.3. ЗКО крупи за різних режимів оброблення	28
РОЗДІЛ 4 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	32
РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	34
5.1 Організація умов охорони праці на робочому місці	34
5.2 Розроблення заходів з охорони праці	35
5.3 Моделювання небезпечних ситуацій	35
РОЗДІЛ 6 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ	37

ВИСНОВКИ	38
РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ	39
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	40
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.

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. Therefore, the products of spelt wheat processing are currently relevant, but there is insufficient information about the rational modes of its processing into currently popular products, which requires additional research.

Justification of the research topic.

Cereal production is one of the least energy-intensive ways of grain processing. However, during the production of certain groups of cereals, in particular rolled groats, it is necessary to use an energy-consuming process associated with the processing of grain with water and steam. Setting up hot air conditioning is a complex technological process that requires the use of complex technological equipment. It is economically justified to use water and heat treatment at enterprises of medium and high productivity. In small enterprises, the use of hot air conditioning in most cases is not justified. Therefore, there is a problem for producers of less common types of raw materials, who seek to increase the added value of their product by processing it into cereals. The volume of modern spelt wheat production does not allow for the design of enterprises of high and medium productivity due to the insufficient amount of raw materials. Therefore, it is advisable to study alternative methods of producing cereal products. Such a method can be the

processing of raw materials in the electromagnetic field of ultra-high frequency currents. The use of the proposed method significantly simplifies the technological process. To ensure the operation of the installation, only electrical energy is required. There is no need to use combustible materials to ensure the operation of traditional production. However, for spelt wheat, there is currently insufficient information on the impact of different production modes on key indicators, which argues the topic of this study.

Purpose and objectives of the study.

The aim of the work is to substantiate the rational modes of peeling and processing in the electromagnetic field of ultra-high frequency currents of spelt wheat grain in the production of rolled groats.

Objectives of the study:

- to study the influence of cereal production modes on the yield of cereals;
- to study the influence of cereal production modes on the overall culinary quality of cereals;
- to substantiate rational modes of production of groats from spelt wheat.

Object of study.

Technology of cereal production

Subject of research.

Modes of water heat treatment and peeling.

Research methods.

Theoretical, empirical.

Scientific novelty of the results obtained.

For the first time, a comprehensive study of grain processing modes in the electromagnetic field of ultra-high frequency currents, which were pre-peeled for different durations of time, was carried out. Cause-and-effect relationships between the modes of cereal production and the yield of groats have been revealed. The most accurate mathematical models that can characterize the technological process are substantiated. The resulting dependencies can be used to automate and robotize the production process.

Practical significance of the research results obtained.

A schematic diagram of the production of rolled groats using processing in microwave EP has been developed. The proposed technology is recommended for

implementation at low-productivity enterprises and is characterized by significantly lower investment risks compared to the traditional technology.

Approbation of work results.

The main statements, conclusions and recommendations given in the work were discussed during the meeting of the scientific circle of the graduating department.

ВСТУП

Продукти перероблення зерна пшениці полби мають зростаючий попит серед споживачів. Підвищена зацікавленість до продуктів із зерна пшениці спелти 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.

Пшениця спелта 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. Тому продукти перероблення пшениці полби нині є актуальними, проте відомостей про раціональні режими її перероблення на популярні нині продукти, недостатні, що вимагає проведення додаткового дослідження.

Обґрунтування теми дослідження.

Круп'яні виробництва – один із найменш енерговитратних способів перероблення зерна. Однак, під час виробництва окремих груп крупів, зокрема крупи плющені, необхідним є використання енерговитратного процесу, пов'язаного із обробленням зерна водою та парою. Налагодження гарячого кондиціювання – складний технологічний процес, що вимагає застосування складного технологічного устаткування. Економічно обґрунтованим є використання водо теплового оброблення на підприємствах середньої та високої продуктивності. На малих підприємствах використання гарячого кондиціювання у більшості випадків не виправдане. Тому виникає проблема для виробників

малопоширених видів сировини, які прагнуть збільшити додану вартість на свій продукт шляхом перероблення його на крупи. Обсяг сучасного виробництва пшениці полби не дає можливості до проектування підприємств високої та середньої продуктивності за рахунок недостатньої кількості сировини. Тому доцільним є вивчення альтернативних способів виробництва круп'яних продуктів. Таким способом може бути оброблення сировини у електромагнітному полі струмів надвисокої частоти. Використання запропонованого методу суттєво спрощує технологічний процес. Для забезпечення роботи установки потрібно виключно електрична енергія. Відпадає потреба в використанні горючих матеріалів для забезпечення роботи традиційного виробництва. Однак для пшениці полби нині недостатня кількість відомостей про вплив різних режимів виробництва на ключові показники, що аргументує тематику даного дослідження.

Мета і завдання дослідження.

Мета роботи – обґрунтувати раціональні режими луцення та оброблення в електромагнітному полі струмів надвисокої частоти зерна пшениці полби за виробництва крупів плющених.

Завдання дослідження:

- вивчити вплив режимів круп'яного виробництва на вихід крупи;
- вивчити вплив режимів круп'яного виробництва на загальну кулінарну якість крупи;
- обґрунтувати раціональні режими виробництва крупи із пшениці полби.

Об'єкт дослідження.

Технологія круп'яного виробництва

Предмет дослідження.

Режими водо теплового оброблення та луцення.

Методи дослідження.

Теоретичні, емпіричні.

Наукова новизна одержаних результатів.

Вперше проведено комплексне дослідження режимів оброблення зерна в електромагнітному полі струмів надвисокої частоти, що попередньо лушили впродовж різної тривалості часу. Виявлені причинно-наслідкові зв'язки між

режимами круп'яного виробництва та виходом крупи. Обґрунтовані найбільш точні математичні моделі, що можуть охарактеризувати технологічний процес. Отримані залежності можна використовувати для автоматизації та роботизації виробничого процесу.

Практичне значення отриманих результатів досліджень.

Розроблено принципову схему виробництва крупи плющеної за використання оброблення в ЕП НВЧ. Запропонована технологія рекомендована до впровадження на підприємствах низької продуктивності та відрізняється суттєво меншими ризиками капіталовкладень, порівняно із технологією традиційною.

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. Технологічні властивості 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 сухівий 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. Круп'яна промисловість. Загальна характеристика та перспективи розвитку.

Круп'яна промисловість є важливою галуззю українського аграрного сектора, граючи значущу роль у задоволенні потреб населення в харчових продуктах. Аналіз актуального стану круп'яної промисловості в ЄС розкриває ключові тенденції та виклики, з якими ця галузь стикається в сучасних умовах [14].

За останні роки ЄС зберегла свою позицію серед найбільших виробників та експортерів круп'яних культур в світі. Основними гравцями у виробництві є пшениця, ячмінь, гречка та інші злаки. Висока якість та конкурентоспроможність українських круп'яних товарів забезпечують їхню популярність на міжнародних ринках [15].

Незважаючи на активний експорт, внутрішнє споживання круп'яних продуктів залишається значимим фактором. Висока популярність традиційних українських страв, які базуються на круп'яних культурах, сприяє сталому попиту на ці продукти серед місцевого населення [16].

В останні роки в круп'яній промисловості відбулися значні технологічні зміни. Впровадження сучасних методів обробки та управління виробництвом допомагає підвищити ефективність та якість круп'яних продуктів [17].

Незважаючи на успіхи, круп'яна промисловість України стикається із викликами, такими як коливання цін на світових ринках, конкуренція та нестабільність у погодних умовах. Однак розвиток нових ринків та вдосконалення технологій виробництва створюють перспективи для подальшого росту [18].

Актуальний стан круп'яної промисловості в ЄС свідчить про її важливість у виробництві харчових продуктів як для внутрішнього, так і для міжнародного ринків. З врахуванням сучасних тенденцій та вирізняючись конкурентоспроможністю, ця галузь має потенціал для подальшого розвитку та укріплення позицій України в світовому аграрному секторі.

1.3. Основні технологічні процеси виробництва крупів

Технологічні процеси виробництва крупів із пшениці є складним аспектом продовольчої промисловості, де важливо зберігати високу якість та поживні властивості кінцевого продукту. Цей процес включає в себе кілька ключових етапів, починаючи від обробки сировини та завершуючи упаковкою готового продукту [19].

Початковий етап виробництва крупів полягає у відборі якісної пшениці. Сировина повинна відповідати встановленим стандартам щодо вологості, присутності домішок та біологічної чистоти. Після відбору пшениця проходить етап чищення, миття та висушування для виключення всіх небажаних домішок [20].

Сировина подається на молоткові чи валкові млини, де вона перетворюється на грубе або дрібне борошно. Цей етап має великий вплив на розмір часток круп'яних продуктів та їх текстуру [21].

Отримане борошно піддається класифікації за розмірами часток, а потім просіюється для видалення більших або менших часток. Цей етап визначає розмір та однорідність круп'яних продуктів [22].

Крупи піддаються варінню або пароварці для допомоги у збереженні поживних речовин та поліпшенні текстури. Цей етап також включає обробку гарячою водою для денатурації ферментів та зниження часу приготування круп'яних продуктів [23].

Після варіння крупи сушаться для видалення надлишкової вологи. Послідовно вони охолоджуються для забезпечення стабільності та зберігання якості [24].

Готові крупи упаковуються відповідно до нормативів та вимог безпеки. Важливо забезпечити належне маркування, що вказує на вид круп'яному продукту, термін придатності та інші важливі характеристики [25].

Технологічні процеси виробництва крупів із пшениці представляють собою послідовність важливих етапів, які спрямовані на забезпечення якості та безпеки кінцевого продукту. Використання сучасних технологій та стандартів дозволяє досягти високих стандартів виробництва і задовольняти потреби споживачів у високоякісних крупах [26].

Мікрохвильова обробка є сучасним та ефективним методом приготування їжі, що базується на використанні електромагнітних хвиль радіочастоти. Теоретичні основи оброблення продуктів в мікрохвильовій печі полягають у впливі мікрохвиль на структуру та хімічний склад продуктів для швидкого та ефективного приготування їжі [27].

Мікрохвильові печі використовують електромагнітні хвилі з довжиною хвилі приблизно 12 см. Ці хвилі взаємодіють з водою, жирами та молекулами інших речовин, зумовлюючи їхні коливання та тертя. Це призводить до швидкого нагрівання продуктів [28].

Мікрохвилі проникають в продукт і нагрівають його зсередини. Вода та інші поліароматичні молекули виробляють тепло в результаті втрати енергії, що прискорює приготування. Крім того, процеси поглиблення та випромінювання тепла можуть стимулювати бронювання та формування хрусткості [29].

Вода, що є дипольною молекулою, реагує на змінюється електричне поле мікрохвиль. Інверсія диполів відбувається, коли молекули вода спрямовуються в напрямку поля, та знову розсіюють енергію у вигляді тепла. Цей процес відбувається водночас у всьому об'ємі продукту, рівномірно нагріваючи його [30].

Мікрохвилі не змінюють хімічний склад продуктів, тому вони зберігають свої поживні властивості. Відсутність необхідності використання масла або води для приготування дозволяє зберегти вітаміни та мінерали у продуктах [31].

Процес мікрохвильового приготування може бути легко контрольованим та регульованим за допомогою часових та потужнісних параметрів. Крім того, відсутність теплового опалення навколишнього повітря знижує ризик перегріву та дозволяє швидше приготування продуктів [32].

Теоретичні основи оброблення продуктів в мікрохвильовій печі базуються на фізичних принципах взаємодії мікрохвиль з продуктами. Використання цієї технології забезпечує ефективне та рівномірне приготування їжі, зберігаючи при цьому її поживні властивості та безпеку [33].

Таким чином перспективною є можливість використання оброблення крупів у електромагнітному полі струмів надвисокої частоти.

РОЗДІЛ 2 УМОВИ, СХЕМА ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Умови проведення дослідження

Дослідження проводили в контрольованих умовах випускової кафедри. В лабораторії кафедри була сформована технологічна схема, що імітувала технологічних процес отримання крупів за використання інноваційних методів водотеплового оброблення.

Для дослідження брали сировину, що вирощували в умовах НВВ УНУС у 2022 році. Сорт пшениці – Голіковська. Технологічні властивості – типові для сорту та умов вирощування.

2.2. Схема проведення дослідження

Схема отримання крупы в лабораторних умовах із застосуванням ЕП НВЧ включала:

- попереднє очищення пшениці полби від домішок, що відрізнялись за геометричним та аеродинамічними властивостями;
- лущення зерна в машині ударно-сиріючої дії;
- контроль продуктів лущення;
- зволоження лущеного зерна
- оброблення лущеного зерна в еп нвч;
- плющення зерна;
- контроль продуктів плющення;
- охолодження.

План експерименту включав вивчення критичних показників виробництва залежно від режимів виробництва крупы.

Факторами впливу визначено:

- тривалість лущення;
- тривалість оброблення в ЕП НВЧ;
- градієнт зволоження.

Критеріями оптимізації встановлено:

- вихід крупи;
- вихід мучки;
- вихід відходів;
- загальна кулінарна якість крупи.

Кроки та рівні показано у табл. 2.1

Таблиця 2.1

Кроки та рівні варіювання

Фактор	Тривалість лущення, с	К-сть періодів оброблення, од	Вологість перед обробленням, %
МІН	20	4	13
0	120	8	15
МАКС	220	12	17

2.3. Методика проведення досліджень

Для отримання достовірних даних експеримент повторювали 4 рази.

Дослід 1. Визначення виходу крупи.

Виробництва крупи проводили згідно із розробленою технологічною схемою. Загальна маса початкової наважки зерна після очищення становила 200 г. Отримані продукти розділяли на розсіві та зважували у натуральному вигляді із переведенням у абсолютні відсотки.

Дослід 2. Загальної кулінарної якості крупи.

Для визначення сенсорних показників якості вивчали такі показники:

- запах;
- смак;
- консистенцію;
- колір.

Загальну кулінарну якість визначали як середнє арифметичне досліджуваних показників кулінарної якості.

Визначення сенсорних показників здійснювала група, що налічувала 3 експерти. Згідно із класифікацією компетентність групи становила не менше 80 %, що давало можливість отримання достовірних даних.

РОЗДІЛ 3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1. Результати первинного статистичного оброблення

Отримання достовірних даних – важливий етап наукового дослідження. Відомі об'єктивні та суб'єктивні причини допущення помилок під час проведення експерименту та аналізу отриманих даних. У випадку опрацювання та математичного оброблення даних, зібраних із порушеннями існує велика ймовірність отримати недостовірні висновки, рекомендації виробництву та твердження, що не відповідають дійсності. Це негативна практика, оскільки супроводжується суттєвими капітальними втратами під час проведення промислового апробування. Тому проведення первинного статистичного оброблення є важливим етапом отримання достовірних залежностей та ефективних виробничих рішень, що сформовані на результатах математичного оброблення даних.

Аналізуючи вибірки даних аналітичних повторностей доведено їх надійність (Додаток Б, табл. Б.1-Б.2). Коефіцієнт варіювання вибірок повторювань становив 3,94 для показника виходу крупи та 5,44 для показника загальної кулінарної оцінки. Такі значення коефіцієнту варіювання свідчать про не суттєве відхилення даних повторювань від середнього арифметичного їх значення. Тому є доцільність проведення подальшого статистичного оброблення та виведення залежностей.

Тести для перевірки даних на тип розподілення наведені у Додатку Б.

Із гістограм розподілення та графіків частот (рис. 3.1-3.4) слідує низька ймовірність розподілення вибірок даних. Це зумовлює необхідність проведення подальшого статистичного оброблення методами непараметричної статистики. Найбільш нерівномірно розподіленні данні відходів. Із цього слідує висновок про їх випадкове значення.

За проведення кореляційного аналізу виявлені достовірні зв'язки (Додаток Б). Тривалість луцення мала достовірний зв'язок із виходом крупи, виходом мучки та ЗКО. Кількість періодів оброблення мало достовірний проте слабкий тип зв'язку з Виходом крупи та мучки й ЗКО (рис. 3.5-3.10).

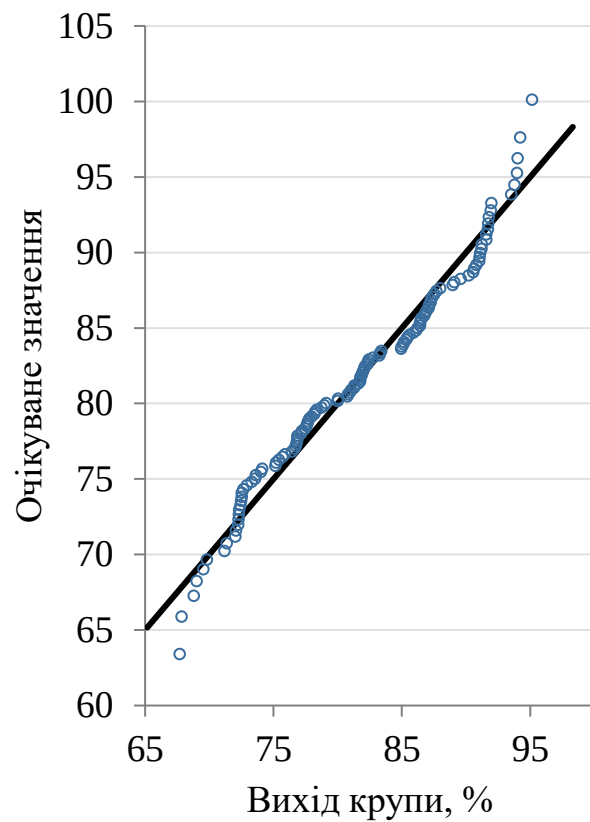
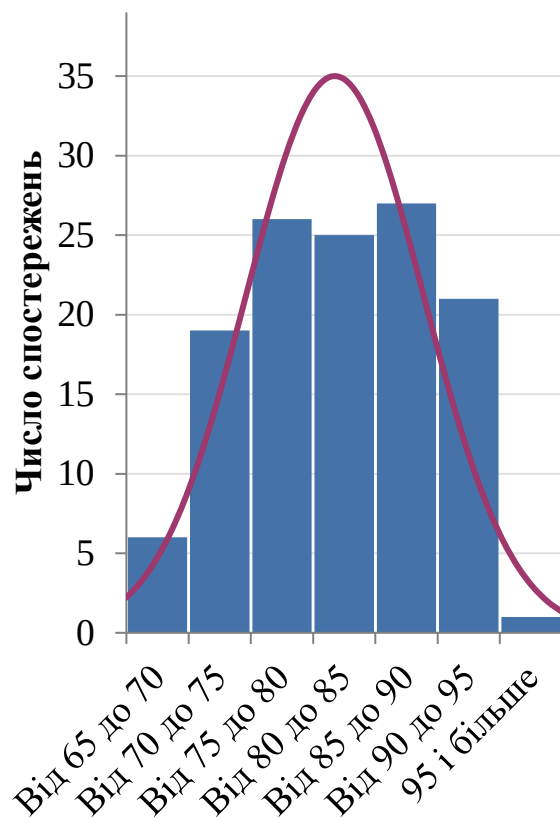


Рис. 3.1. Аналіз даних (вихід крупи)

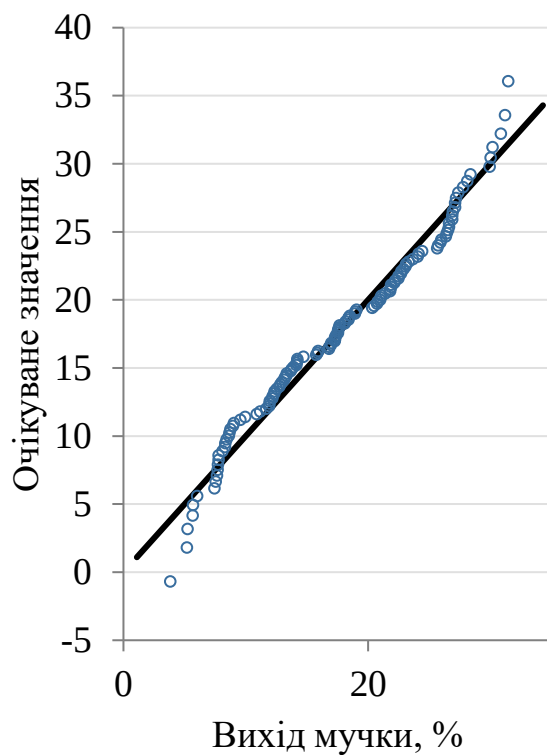
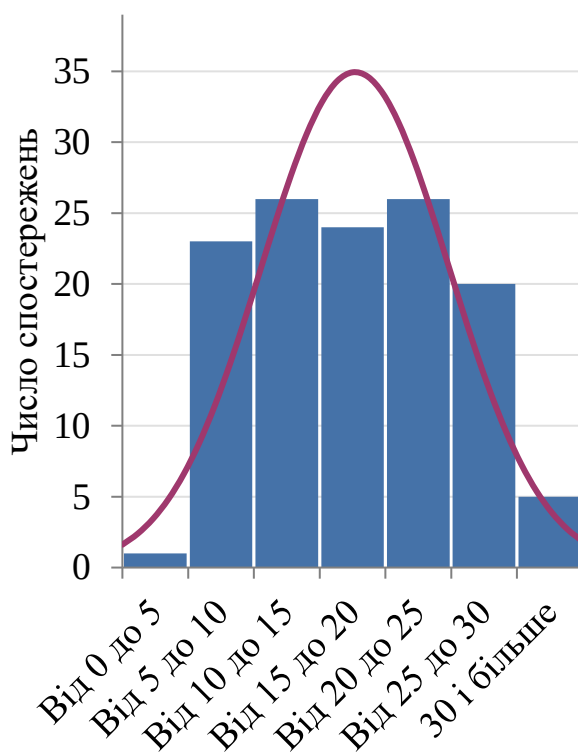


Рис. 3.2. Аналіз даних (вихід мучки)

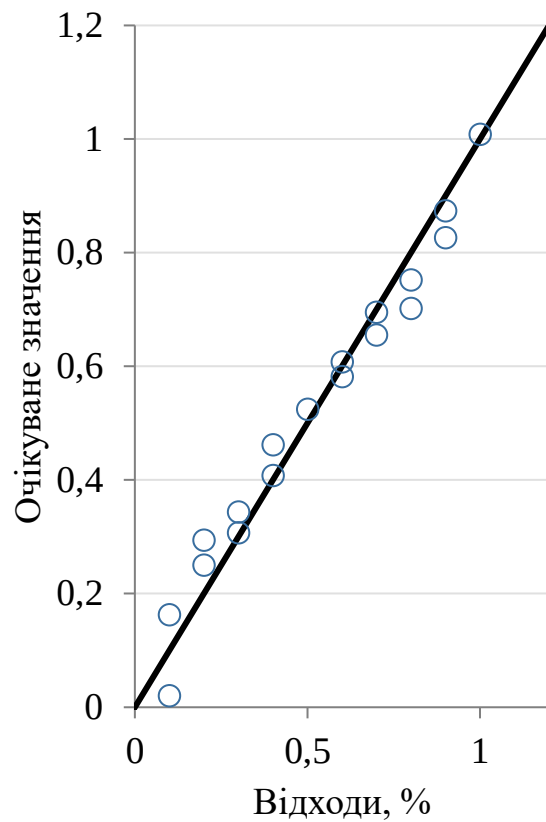
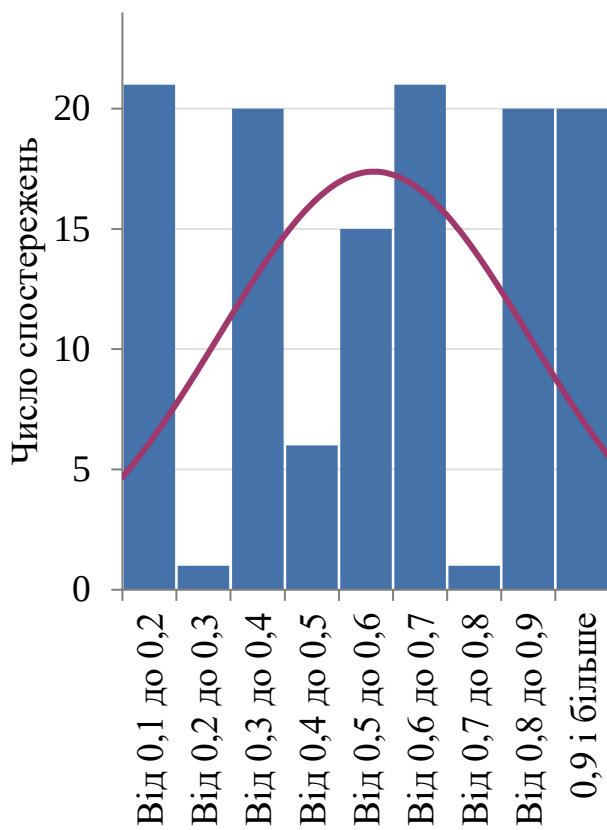


Рис. 3.3. Аналіз даних (вихід відходів)

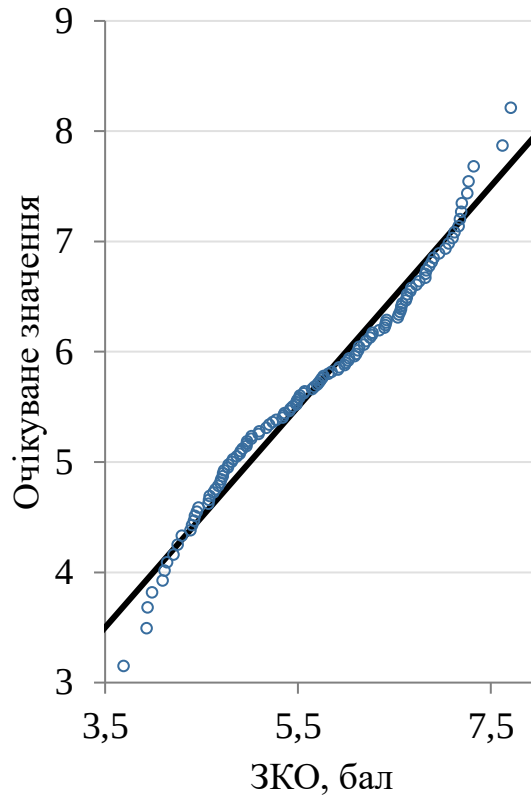
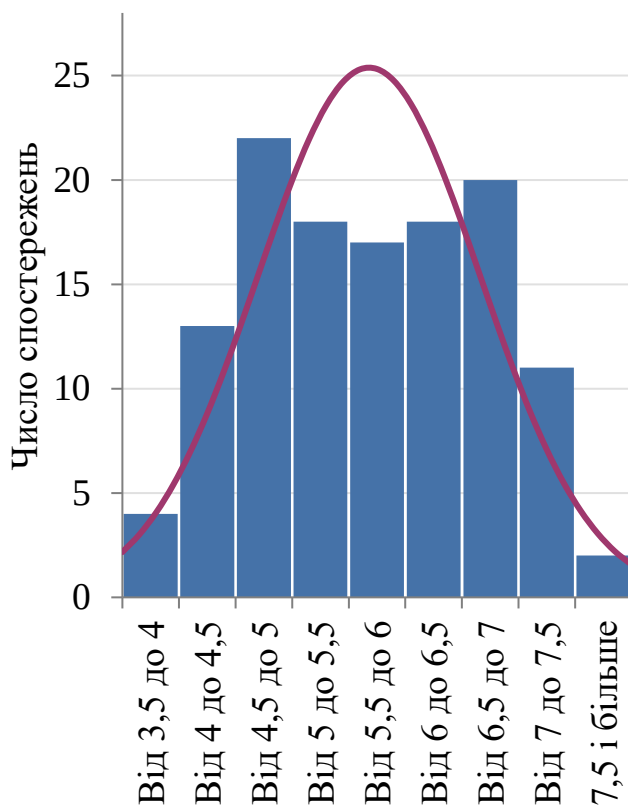


Рис. 3.4. Аналіз даних (загальна кулінарна оцінка)

Також достовірний, проте слабкий зв'язок встановлено між початковою вологістю зерна та показниками виходу крупи й мучки.

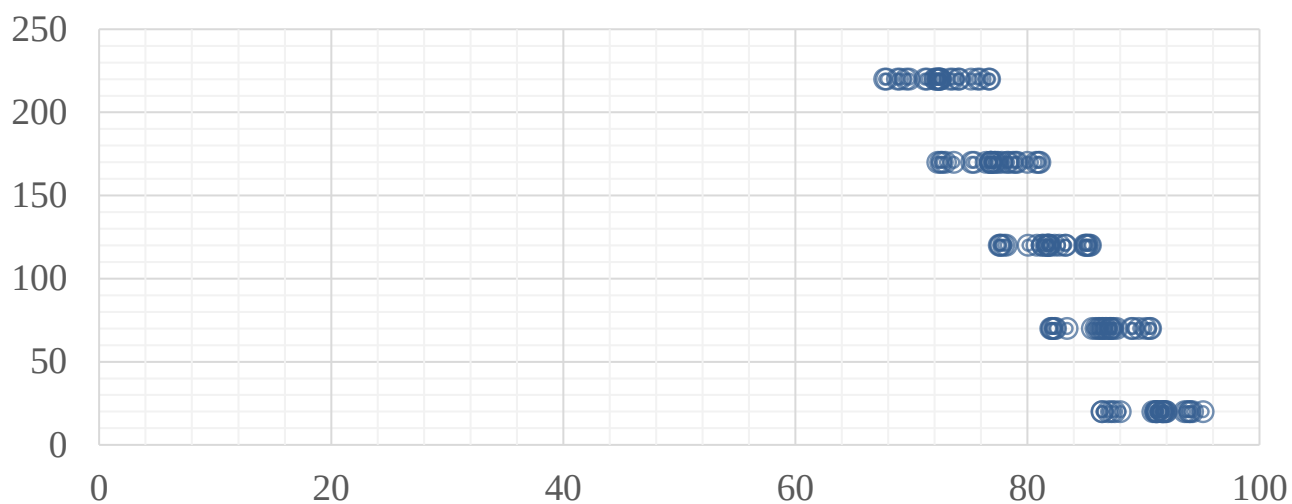


Рис. 3.5. Вихід крупи, % vs. Тривалість лушчення, с ($R = -0,93$)

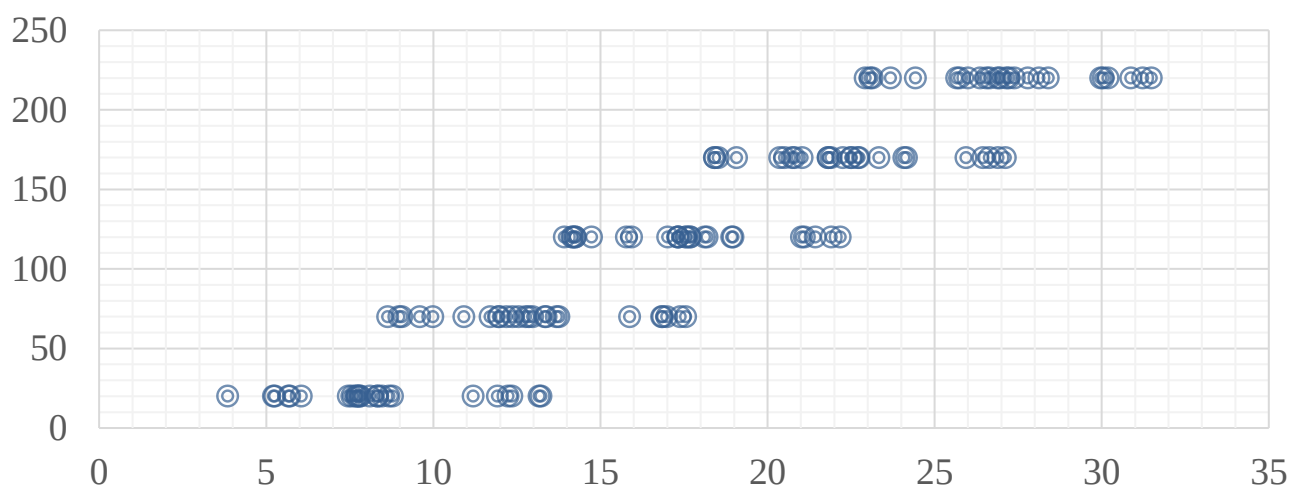


Рис. 3.6. Вихід мучки, % vs. Тривалість лушчення, с ($R = 0,93$)

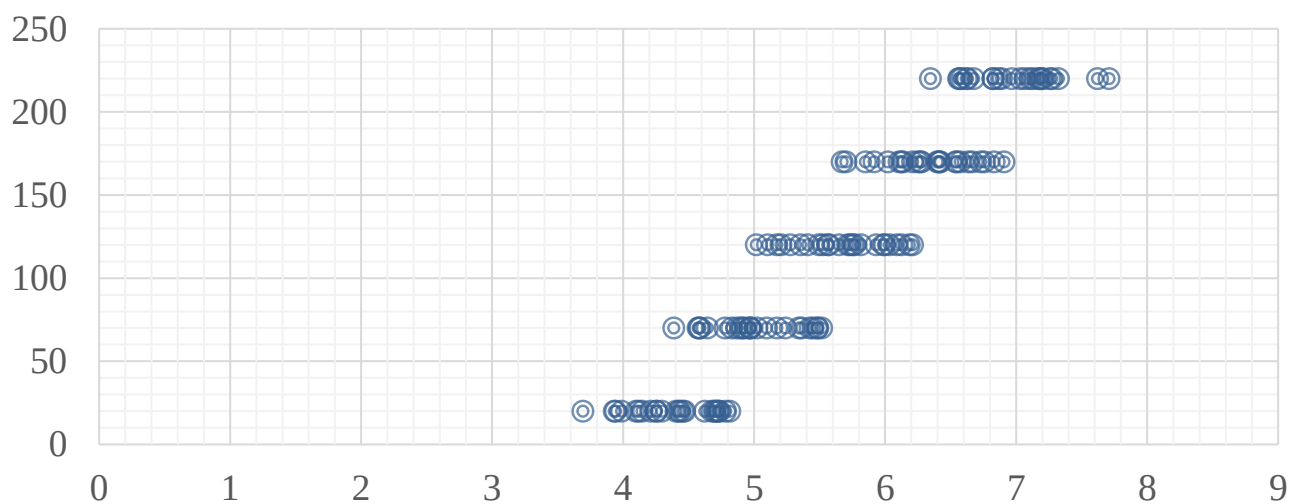


Рис. 3.7. ЗКО, бал vs. Тривалість лушчення, с ($R = 0,94$)

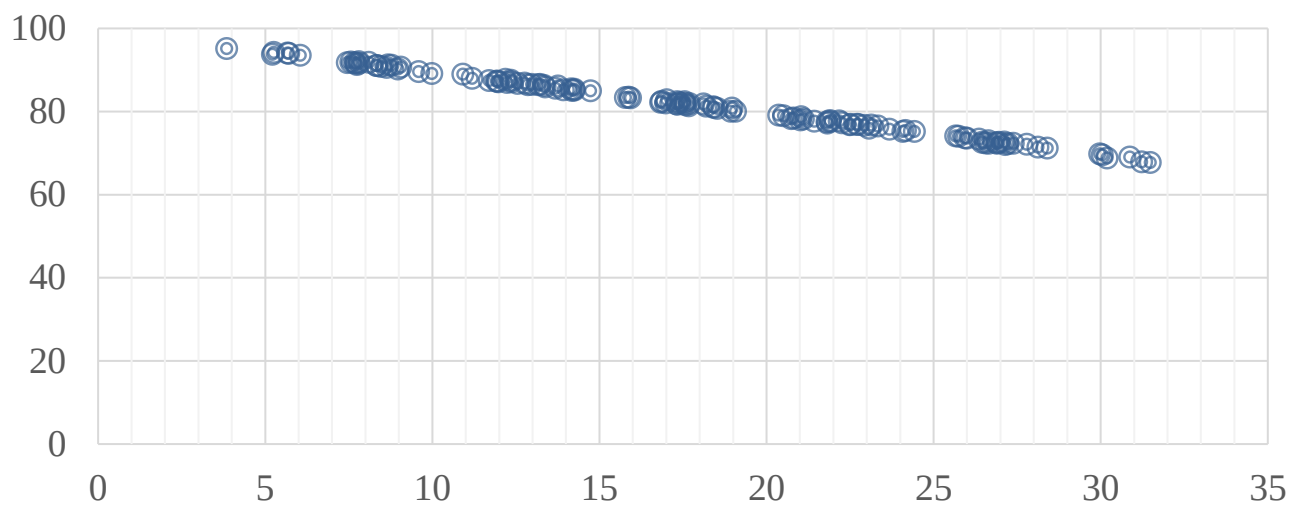


Рис. 3.8. Вихід мучки, % vs. Вихід крупи, % ($R = -1$)

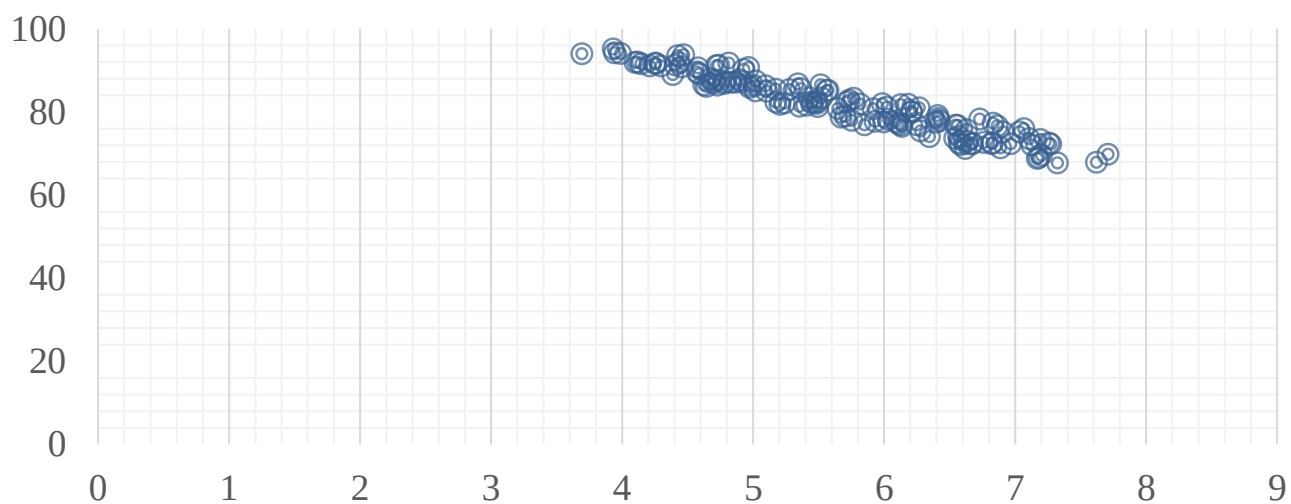


Рис. 3.9. ЗКО, бал vs. Вихід крупи, % ($R = -0.96$)

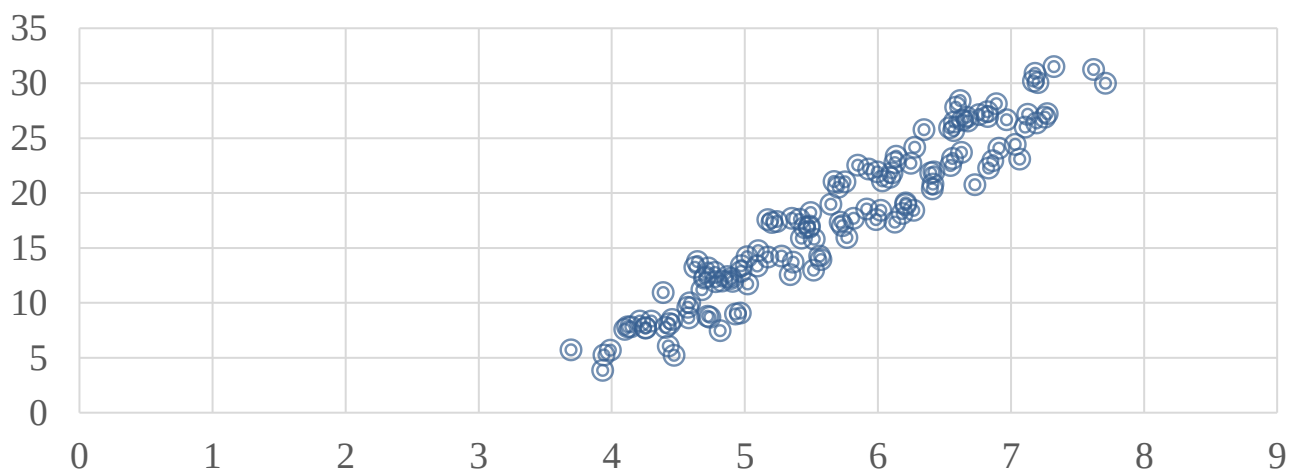


Рис. 3.10. ЗКО, бал vs. Вихід мучки, % ($R = 0.96$)

Отже, проведенням аналізом доведено доцільність використання отриманих результатів, оскільки вони відповідають вимогам що до достовірності та надійності. Крім цього методами простого математичного оброблення виявлені достовірні зв'язки між параметрами виробництва та показниками виходу й кулінарної оцінки крупи, що зумовлює необхідність подальшого статистичного оброблення.

3.2. Вихід крупи й супутніх продуктів за різних режимів оброблення

Найбільший вплив на вихід крупи зумовлювала тривалість лушення зерна (рис. 3.10). Збільшення тривалості лушення суттєво зменшувало загальний вихід у наслідок стирання поверхневих шарів дією абразивних органів.

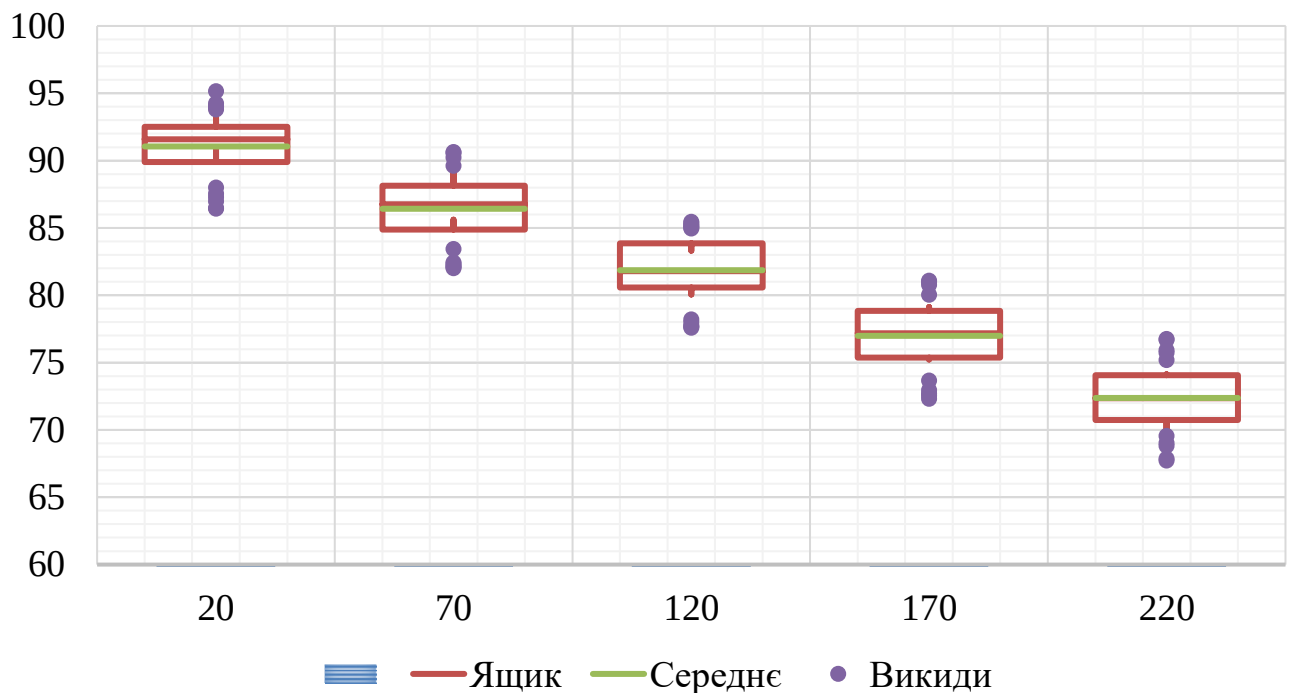


Рис. 3.10. Діаграма типу "ящик з вусами" Вихід крупи, % за Тривалість лушення, с

Збільшення тривалості лушення збільшувало кількість мучки (рис. 3.11). За мінімальної тривалості лушення вихід мучки був на 17 % меншим порівняно із виходом крупи, що лушили за максимальної тривалості (220 с).

Вихід відходів суттєво не залежав від тривалості лушення, що є типовим для виробництва явища та може бути похибкою під час проведення досліджень.

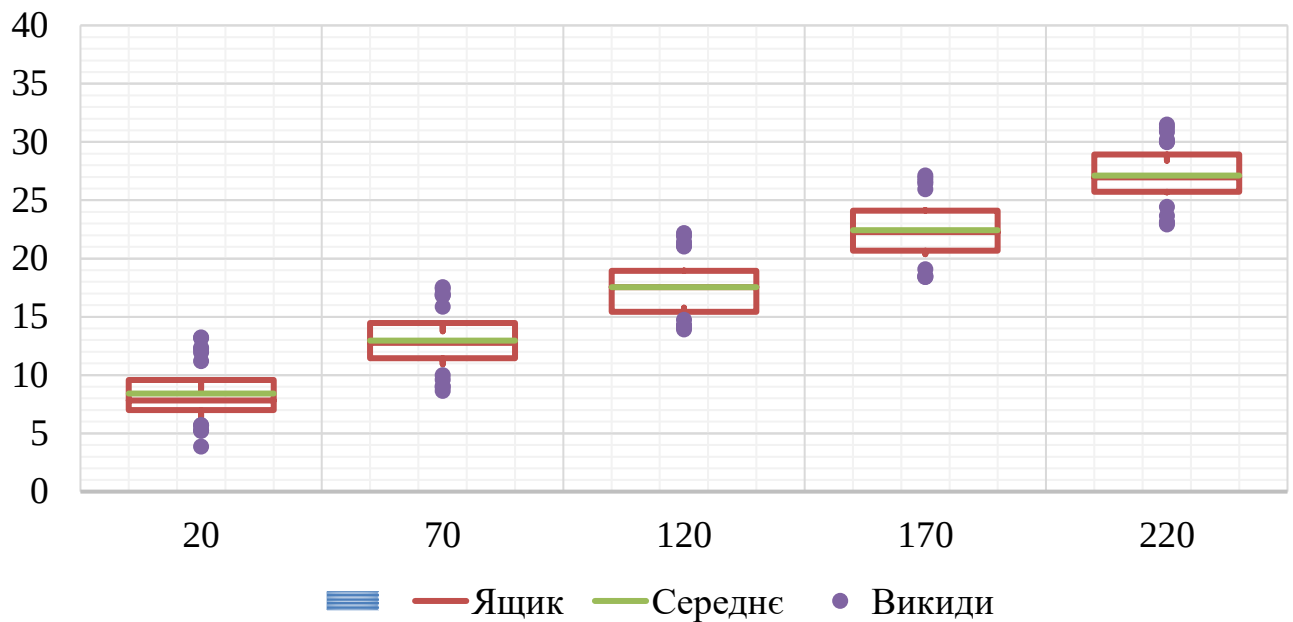


Рис. 3.11. Діаграма типу "ящик з вусами" Вихід мучки, % за Тривалість лушення, с

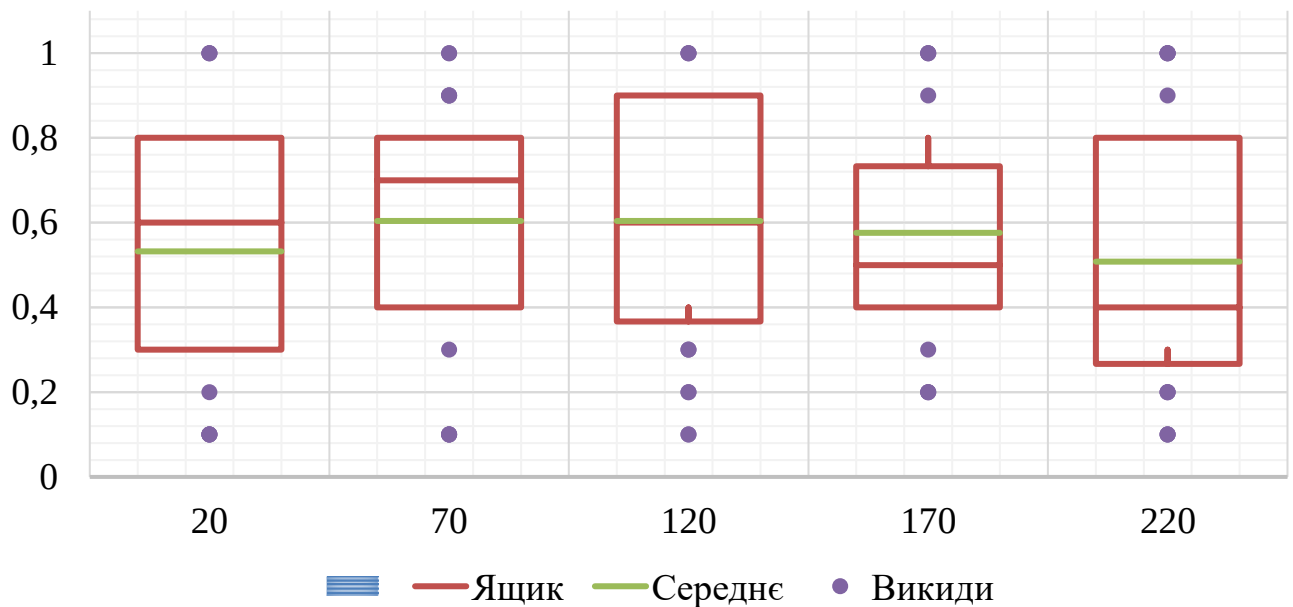


Рис. 3.12. Діаграма типу "ящик з вусами" Відходи, % за Тривалість лушення, с

За збільшення кількості оброблень продукту (одне оброблення становило 20 с) спостерігали підвищення виходу продукту в середньому на 2-3%, що зумовлено особливостями клейстеризації крохмалю за дії високих температур (рис. 3.13). За використання більш тривалого оброблення сировини в ЕП НВЧ спостерігали зменшення виходу в середньому на 0,5 % порівняно із найбільш оптимальним тривалістю, що пов'язано із суттєвим зменшенням вологості оброблюваного

продукту. Крім цього залишається не вивченим питання дія електромагнітного поля струмів надвисокої частоти на крохмальний та білкові комплекси зерна.

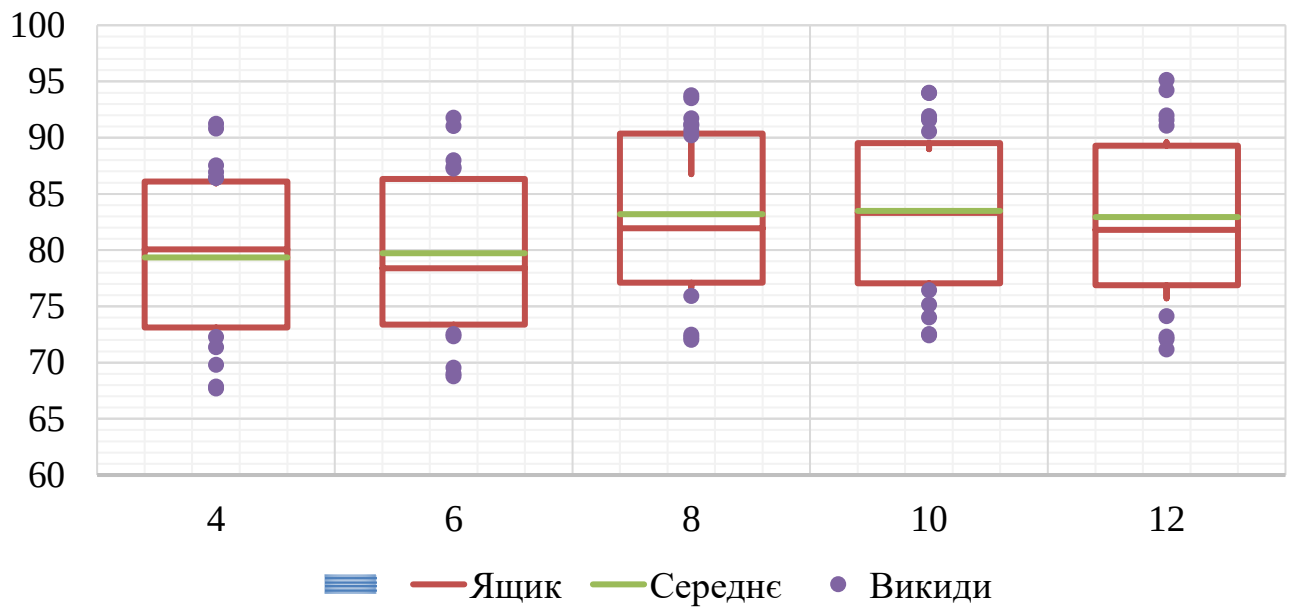


Рис. 3.13. Діаграма типу "ящик з вусами" Вихід крупки, % за К-сть періодів оброблення, од

Загальна кількість мучки була меншою в зразках із довготривалим обробленням (рис. 3.14).

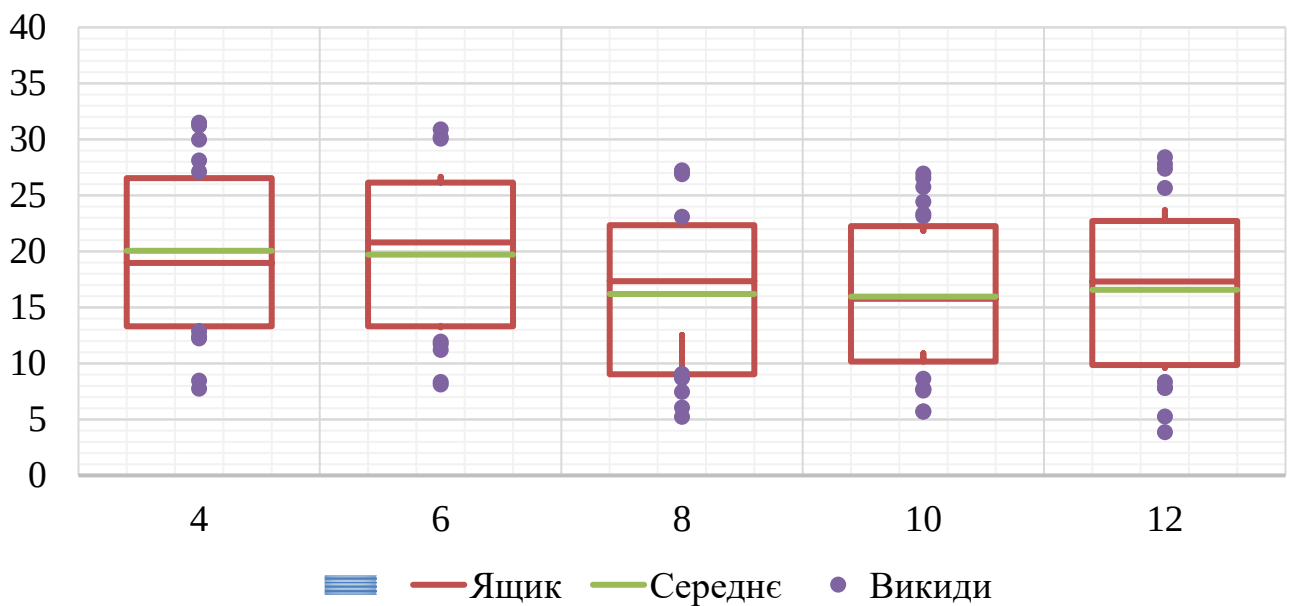


Рис. 3.14. Діаграма типу "ящик з вусами" Вихід мучки, % за К-сть періодів оброблення, од

Використання зволоження перед оброблення в електромагнітному полі СВЧ мало позитивний вплив на технічні показники виробництва, що полягало у збільшенні кількості крупи та зменшення кількості мучки (рис. 3.15-3.16)

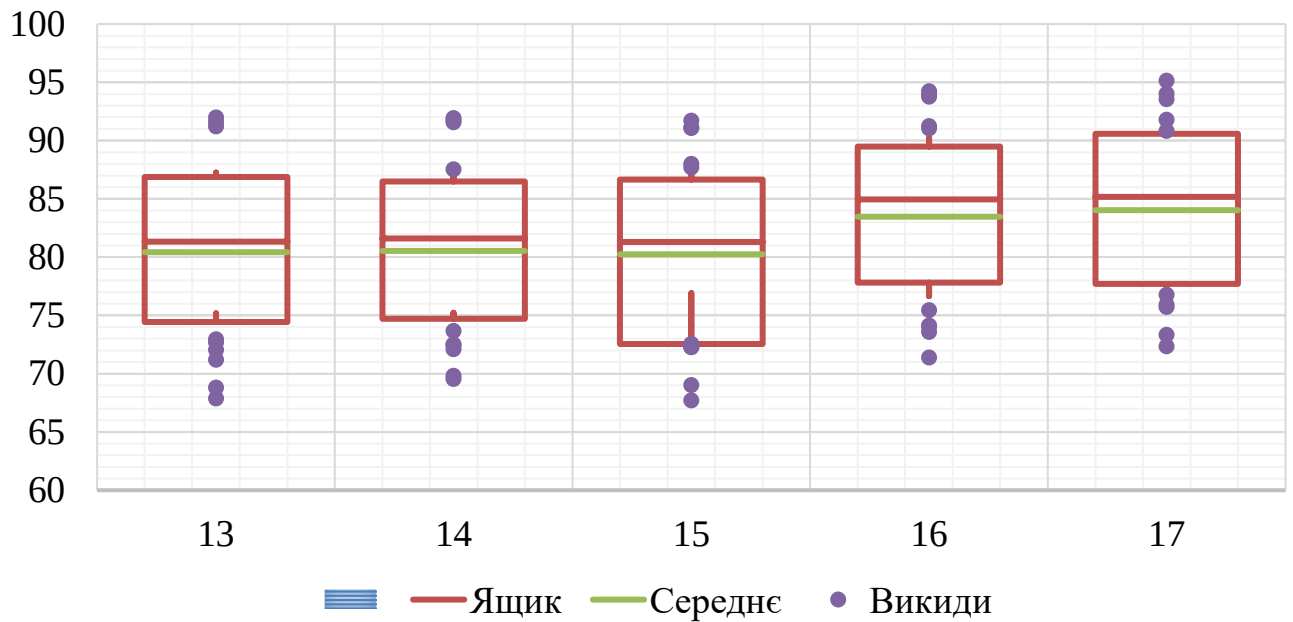


Рис. 3.15. Діаграма типу "ящик з вусами" Вихід крупи, % за Вологість перед обробленням, %

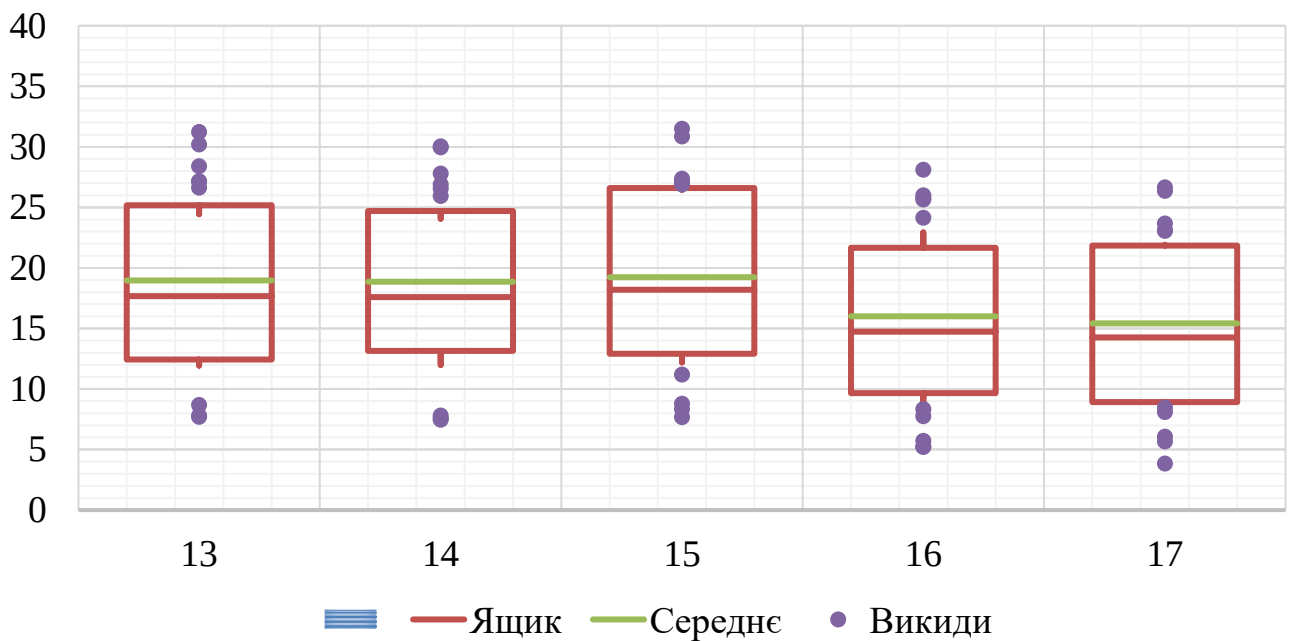


Рис. 3.16. Діаграма типу "ящик з вусами" Вихід мучки, % за Вологість перед обробленням, %

Згідно із проведеними статистичними дослідженнями встановлено, що на вихід крупи та супутніх продуктів найбільше впливала тривалість луцення зерна. Згідно із проведеним регресійним аналізом (Додаток Б) визначено, що найбільш точно залежність між тривалістю луцення та виходом крупи описує лінійна, квадратична, кубічна функція (рис. 3.17).

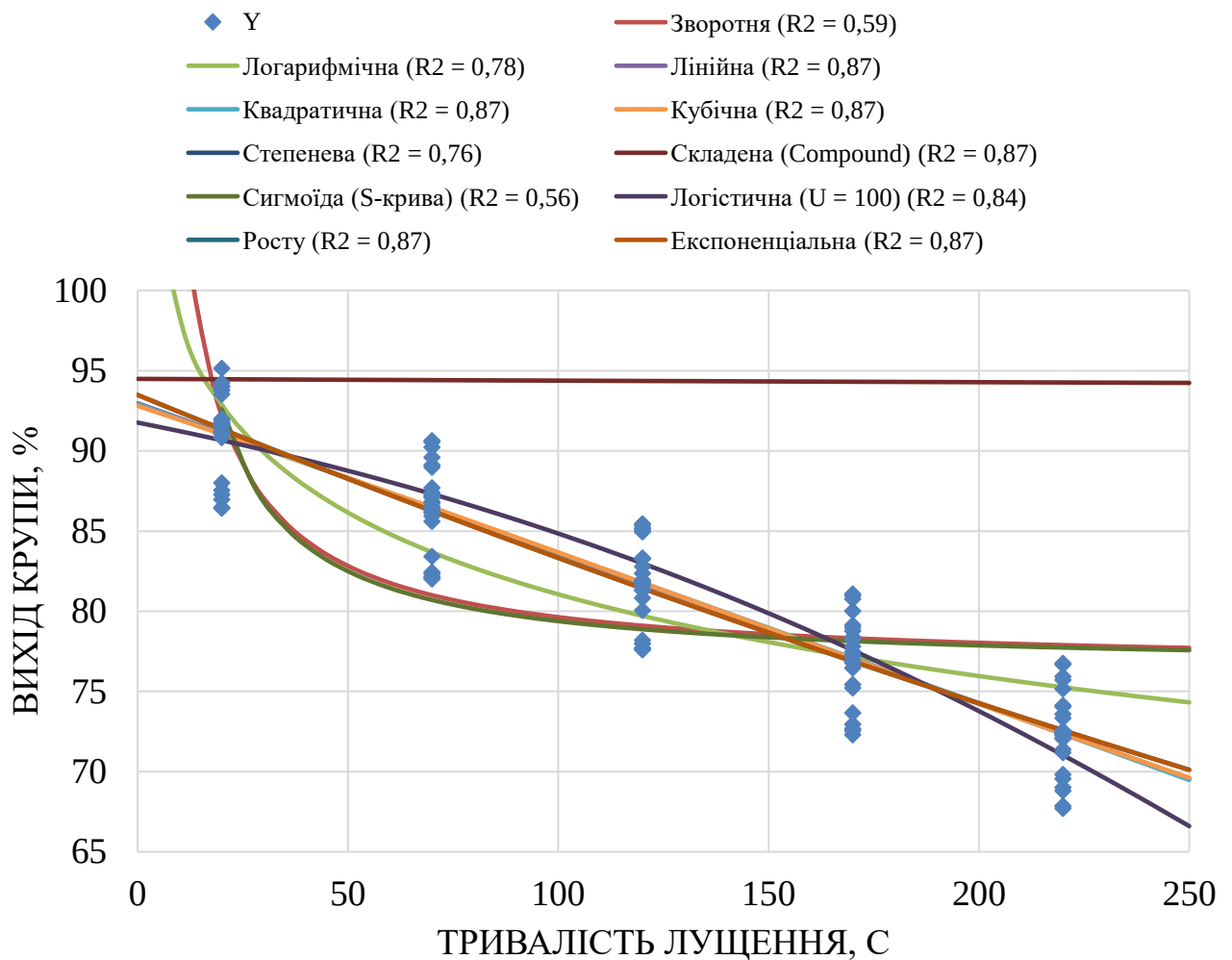


Рис. 3.17. Регресійний аналіз (вихід крупи залежно від тривалості луцення)

3.3. ЗКО крупи за різних режимів оброблення

Кулінарна якість — визначальний показник для сучасного круп'яного виробництва, оскільки сучасні споживачі надіють перевагу саме таким продуктам, що володіють високими кулінарними властивостями.

Під час проведення досліджень встановлено, що збільшення тривалості луцення з 20 до 220 с суттєво підвищувало рівень загальної кулінарної оцінки на 3-4 бали (рис. 3.18).

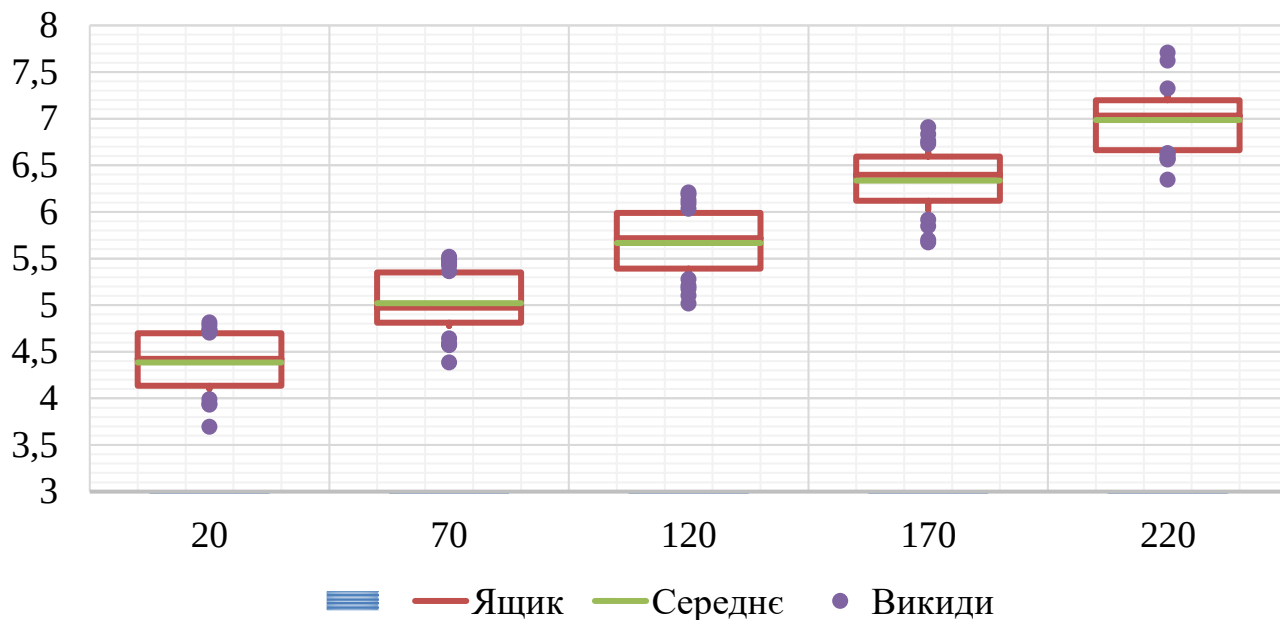


Рис. 3.18. Діаграма типу "ящик з вусами" ЗКО, бал за Тривалість лушення, с

Покращення кулінарної якості у продуктах із мінімальною кількістю оболонок, що отримували за максимальної тривалості лушення відбувалось за рахунок суттєвого покращення показника консистенції каші під час розжовування.

Збільшення кількості оброблень в ЕП НВЧ мало позитивний вплив на рівень ЗКО за загальної кількості оброблень до 8 (рис. 3.19).

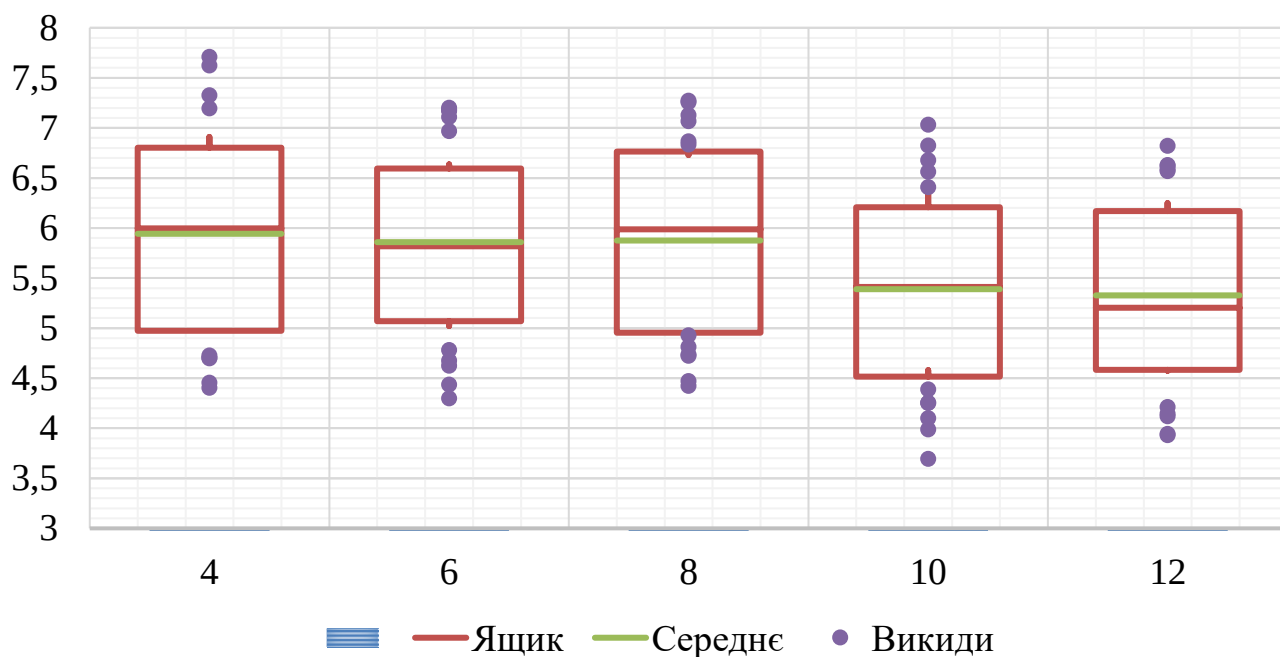


Рис. 3.19. Діаграма типу "ящик з вусами" ЗКО, бал за К-сть періодів оброблення, од

Використання довготривалого оброблення в ЕП НВЧ (більше 8) погіршувало рівень загальної кулінарної оцінки на 0,5 балів в середньому. Погіршення відбувалось за рахунок набуття продуктом стороннього сажового запаху та присмаку.

Використання зволоження перед обробленням в ЕП НВЧ суттєво не змінювало рівень кулінарної якості отриманих продуктів, що в середньому становила 5,5-6,0 балів (рис. 3.20).

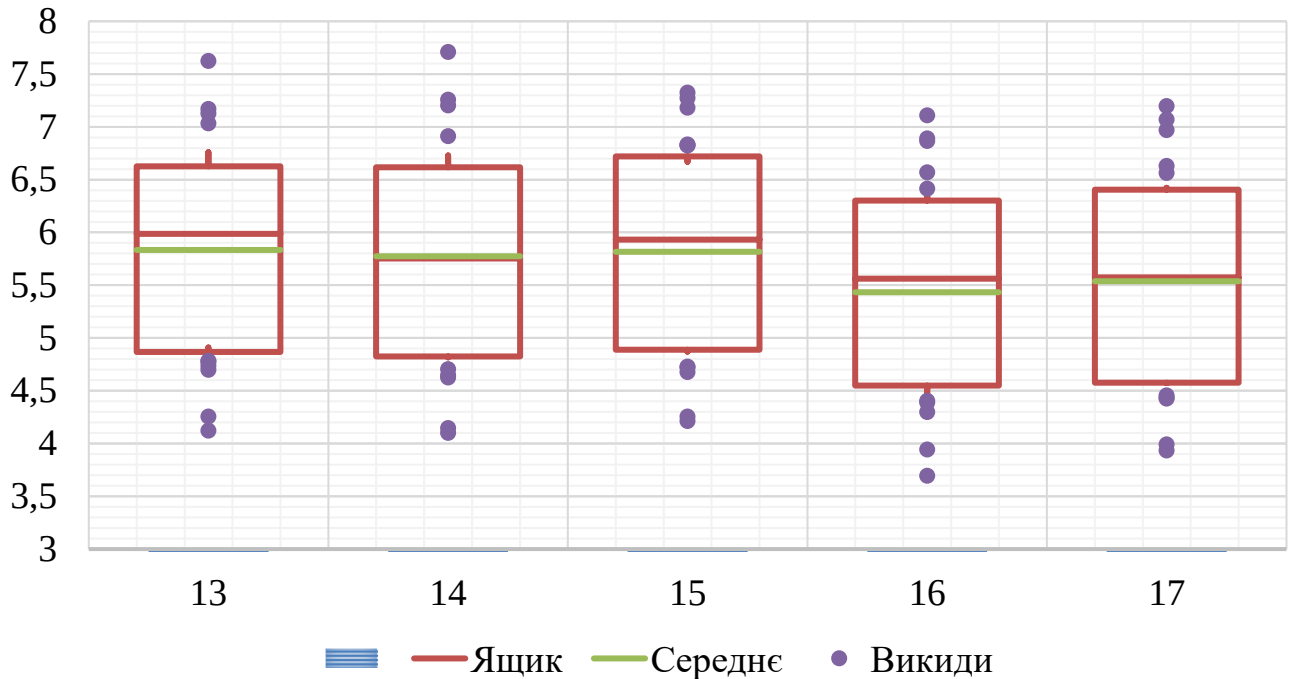


Рис. 3.20. Діаграма типу «ящик з вусами» ЗКО, бал за Вологість перед обробленням, %

Аналогічно до виходу, найбільший вплив на показник кулінарної якості зумовлювала тривалість лущення зерна. Зразки, що мали значну частку поверхневих шарів (мінімальна тривалість лущення) характеризувались зниженими показниками запаху, смаку та консистенції каші під час розжовування. За споживання каші у сухому вигляді надмірна кількість оболонок не була критичною, проте під час традиційного приготування, оболонки були помітними у готовому продукті, що знижувало рівень загальної кулінарної оцінки.

Проведено регресійний аналіз (додаток Б) та визначено найбільш точні моделі, що описують залежності між ЗКО та тривалістю лущення (рис. 3.21).

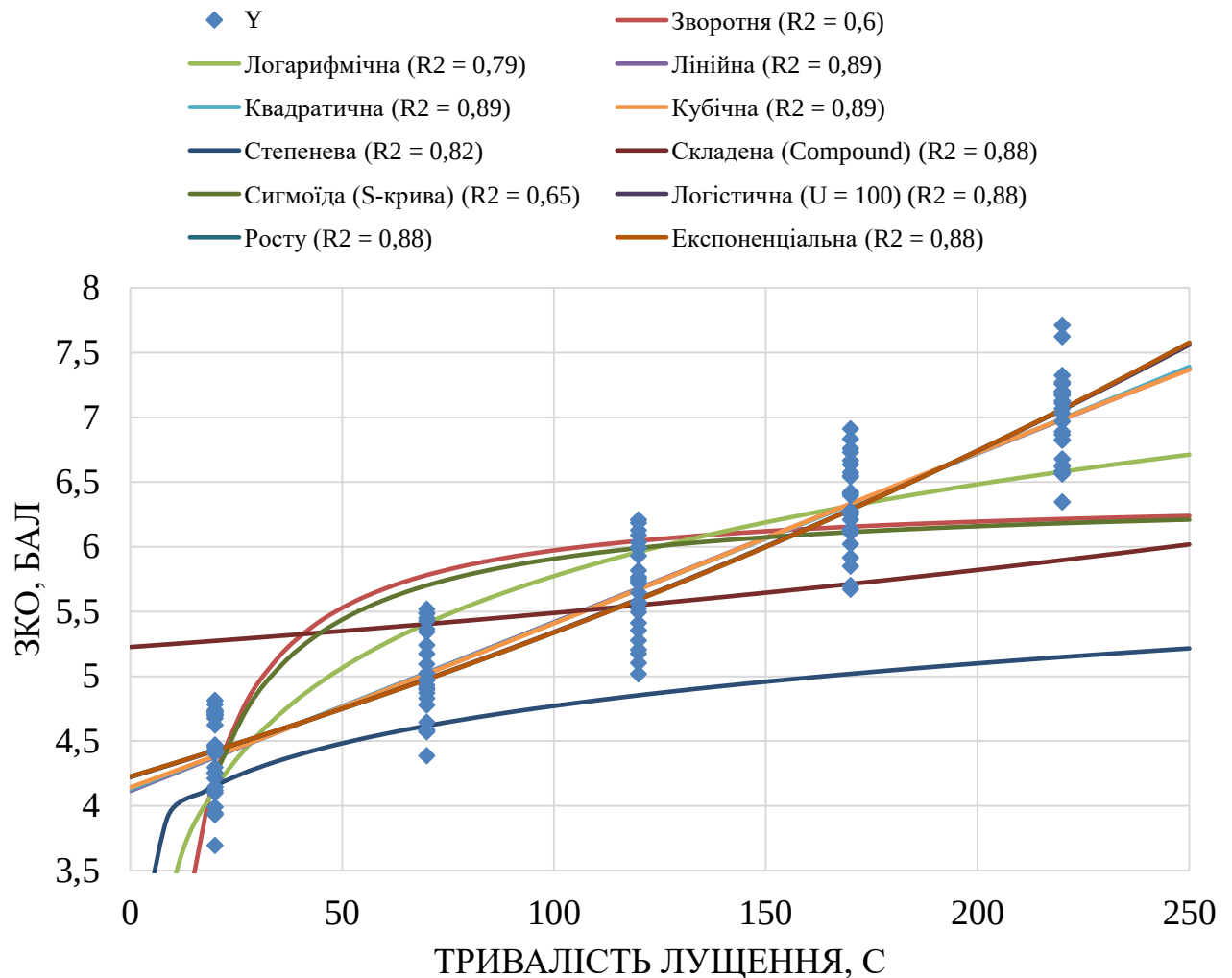


Рис. 3.21. Регресійний аналіз (ЗКО крупи залежно від тривалості лущення)

Згідно із результатами проведених досліджень встановлені раціональні режими виробництва крупи, що полягають у проведенні лущення зерна від 150 до 200 с, зволоження перед обробленням крупи до 14-15% та обробленні в ЕП НВЧ 8 разів із тривалістю одного оброблення впродовж 20 с.

РОЗДІЛ 4 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

На основі результатів проведених досліджень сформовано та обґрунтовано технологічну схему (рис. 4.1).

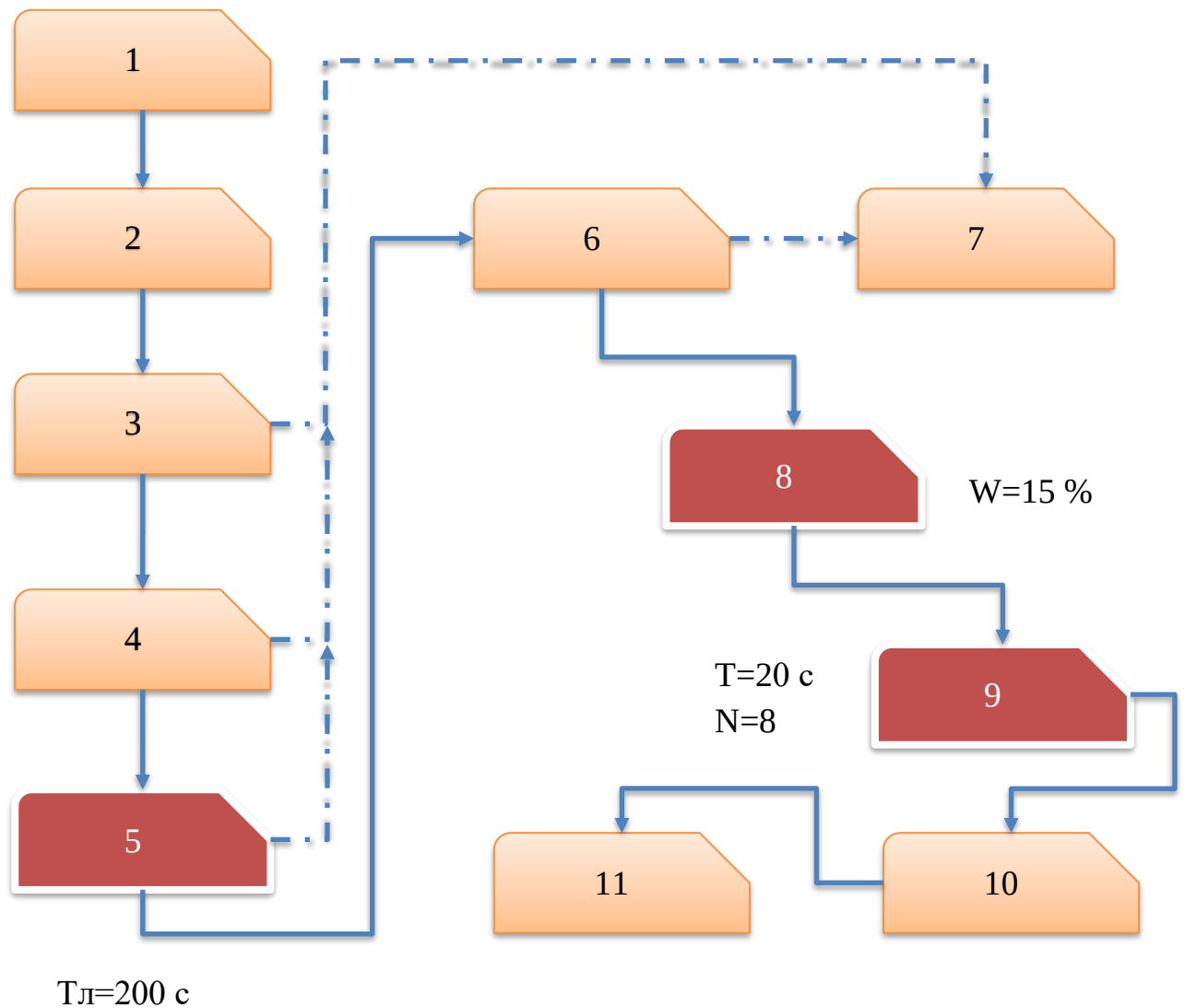


Рис. 4.1. Схема виробництва крупи за використання оброблення в ЕП НВЧ: 1 – бункер для збіжжя; 2 – автоматичні ваги; 3 – сепаратор комбінованого типу; 4 – каменевідбірник; 5 – луцильник; 6 – дуоаспіратор; 7 – сепаратор для контролю відходів; 8 – зволожувальний апарат; 9 – генератор ЕП НВЧ; 10 – плющильний станок; 11 – ситовий сепаратор

Технологія виробництва крупи швидкого приготування із пшениці полби (рекомендована для підприємств низької продуктивності) полягає в очищенні зерна від домішок на машинах 3 і 4. Після очищення зерно лущать без попереднього

водотеплового оброблення (із збільшенням продуктивності доцільно додатково передбачити процес зволоження та відволоження зерна пшениці полби перед лушенням для підвищення ефективності виробництва). Загальна тривалість лушення зерна становить 200 с. Досягнення рекомендованої тривалості можливо за використання голендерів, або послідовного розміщення лушильників ударно-стираючої дії у кількості достатній для забезпечення оптимальної тривалості лушення.

Продукти лушення контролюють на машині 6 із подальшим зволоженням на машині 8. Зволоження здійснюють до 14-15% з наступним обробленням в ЕП НВЧ машини 9. Загальна тривалість оброблення в ЕП НВЧ становить 160 с з подальшим плющенням без використання відволоження. Наступні технологічні етапи типові для виробництва крупів плющених: охолодження та фракціонування на машині 11.

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).

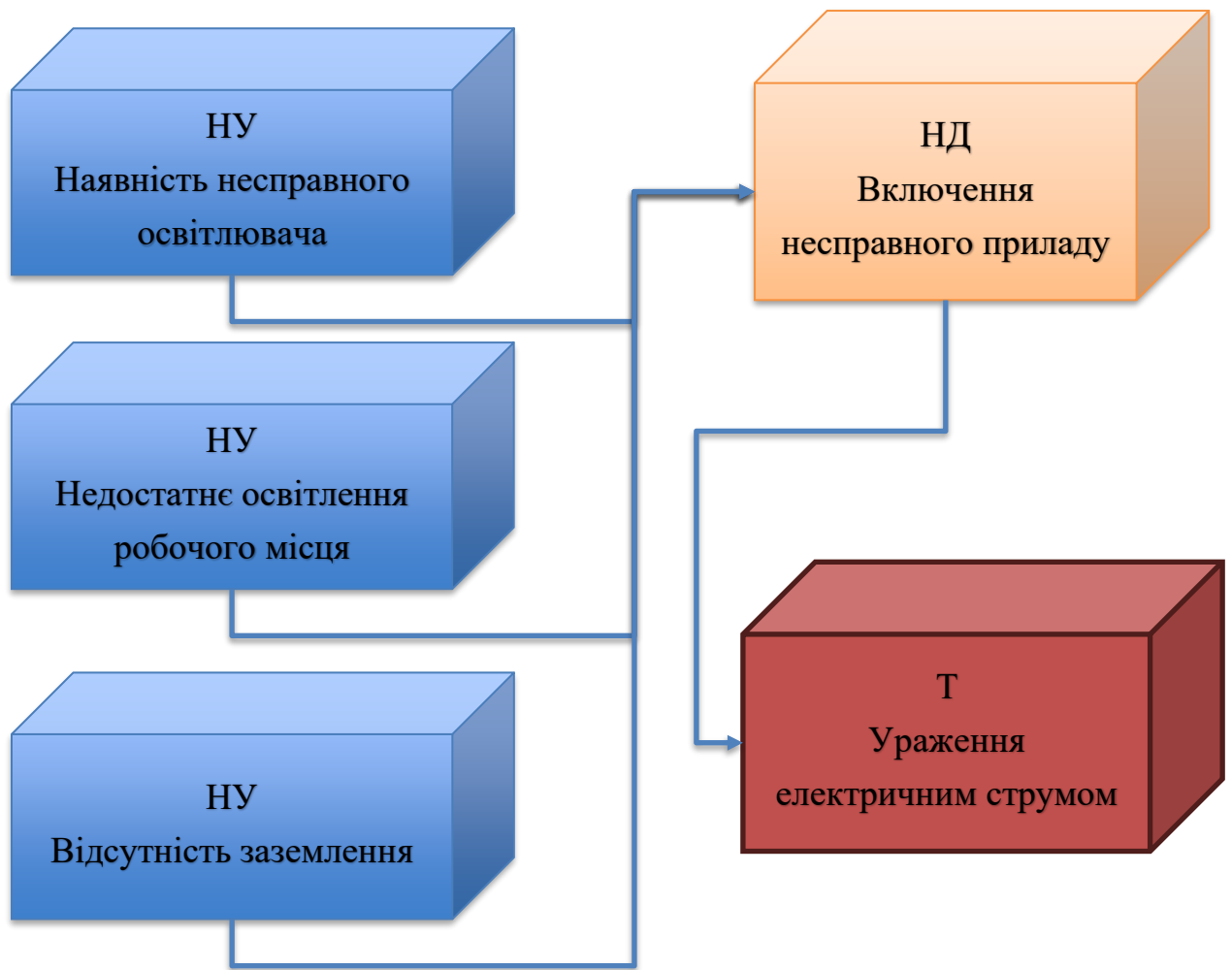


Рис. 5.1 Модель небезпечної ситуації

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

Розрахунок економічної ефективності здійснювали на прикладі проекту заводу, продуктивністю 5 т/добу, що розміщено в приміщенні ангарного типу (ширина – 9 м, довжина – 9 м). Проміжні розрахунки наведено у Додатку В.

Загальна вартість одиниці об'єму склала 4698 грн, а площі – 2455 грн. Загальні прогнозовані витрати будівель та споруд – 4,63 млн. грн, обладнання - 0,66 млн. грн. загальна вартість капітальних витрат – 5,67 млн. грн.

Зведена відомість техніко-економічних показників наведена у табл. 6.1.

Таблиця 6.1

Зведені показники

Показник	Розмірна одиниця	Значення
Прибуток від реалізації сировини	тис. грн/рік	4589,02
Рівень рентабельності продукції	%	23,45
Витрати на 1 грн товарної продукції	-	0,81
Рівень продуктивності праці	т/чол	68,71
Показник фондівдачі	-	4,29
Чистий прибуток	тис. грн/рік	3671,216
Термін окупності	днів	511
Термін окупності	рік; місяць	1 р. -5 міс.

Виробництво крупів плющених є економічно обґрунтованим. Рівень рентабельності становить 23,45 %, що більше на 4-8 % порівняно із традиційними технологіями виробництва. Термін окупності основних фондів становить короткострокову перспективу (1 рік і 5 місяців).

ВИСНОВКИ

На вихід крупи й супутніх продуктів достовірно впливають тривалість лушення та оброблення в ЕП НВЧ. Вплив вологості зерна перед обробленням в ЕП НВЧ малоімовірний. Збільшення експозицій лушення з 20 до 220 с зумовлює зменшення загального виходу на 18-20 %. Використання довготривалого оброблення в ЕПНВЧ дозволяє підвищити вихід в середньому на 1,5-2,0%.

Загальна кулінарна оцінка продукту суттєво змінюється від незадовільної до відмінної за використання різних режимів лушення. Найкращий результат кулінарної якості має продукт, що вироблений із лущеного зерна впродовж 220 с. Використання оброблення лущеного зерна в ЕП НВЧ покращує загальну кулінарну якість продукту. Використання опромінення впродовж 20 с і більше має негативний вплив на рівень загальної кулінарної оцінки, знижуючи її на 0,5 бали в середньому.

Раціональними режимами виробництва крупи із зерна пшениці полби є: проведення лушення зерна від 150 до 200 с, зволоження перед обробленням крупи до 14-15% та оброблення в ЕП НВЧ 8 разів із тривалістю одного оброблення впродовж 20 с. За вказаних режимів можливо отримати найбільший вихід продукту, що має максимальну можливу якість.

РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

Під час виробництва крупи швидкого приготування із пшениці полби (рекомендована для підприємств низької продуктивності) рекомендовано використовувати послідовність технологічних операцій, що полягає в очищенні зерна від домішок на комплексному очисникові та каменевідбірнику. Після очищення зерно луцять без попереднього водотеплового оброблення (із збільшенням продуктивності доцільно додатково передбачити процес зволоження та відволоження зерна пшениці полби перед луценням для підвищення ефективності виробництва). Загальна тривалість луцення зерна становить 200 с. Досягнення рекомендованої тривалості можливо за використання голендерів, або послідовного розміщення луцильників ударно-стираючої дії у кількості достатній для забезпечення оптимальної тривалості луцення.

Продукти луцення контролюють на машині 6 із подальшим зволоженням на машині зволожувальній. Зволоження здійснюють до 14-15% з наступним обробленням в ЕП НВЧ. Загальна тривалість оброблення в ЕП НВЧ становить 160 с з подальшим плющенням без використання відволоження. Наступні технологічні етапи типові для виробництва крупів плющених: охолодження та фракціонування.

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.