

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

Інститут (факультет) Навчально-науковий інститут харчових технологій
Кафедра технології зберігання і переробки зерна

«До захисту в ЕК»
Директор інституту(декан факультету)
_____ Оксана КОЧУБЕЙ- ЛИТВИНЕНКО

«___» _____ 2025 р.

«До захисту допущено»
В. о. завідувача кафедри
_____ Тетяна ЯНЮК
(підпис) (прізвище та ініціали)

«___» _____ 2025 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

зі спеціальності _____ 181 «Харчові технології» _____
(код та назва спеціальності)

освітньої програми _____ Технології зберігання і переробки зерна _____

на тему: «Дослідження зольності продуктів лузання зерна пшениці»

Виконав: здобувач 2 курсу, групи ТЗ-6М Сушков Дмитро Євгенійович

Керівник _____ Шаран Андрій Васильович
(підпис) (прізвище ім'я по батькові)

Рецензент _____
(підпис) (прізвище ім'я по батькові)

Засвідчую, що в цій дипломній
роботі немає запозичень із праць
інших авторів без відповідних
посилань.

Здобувач _____
(підпис)

Київ - 2025 р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет) Навчально-науковий інститут харчових технологій

Кафедра технології зберігання і переробки зерна

Освітній ступінь Магістр

Спеціальність 181 «Харчові технології»

(код і назва)

Освітня програма Технології зберігання і переробки зерна

(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

В. о. завідувача кафедри

технології зберігання і

переробки зерна

Тетяна ЯНЮК

“ ” 2025 року

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

СУШКОВА ДМИТРА ЄВГЕНІЙОВИЧА

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Дослідження зольності продуктів лущення зерна пшениці»

керівник роботи Шаран Андрій Васильович к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від “10” 10 2025 року № 832-кс

2. Строк подання здобувачем роботи 10 грудня 2025 року

3. Вихідні дані до роботи зерно пшениці

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
вступ, зольність зерна пшениці, вплив зольності на технологічні процеси
переробки зерна пшениці, проблеми дослідження зольності продуктів
лущення зерна пшениці, об'єкт і предмет досліджень, підготовка зерна
пшениці, лущення зерна пшениці, методика визначення зольності ядра та
мучки, обробка експериментальних даних, визначення показників якості зерна
пшениці, дослідження зольності продуктів лущення зерна пшениці,
дослідження впливу індексу лущення на зольність продуктів лущення, опис
технологічної лінії переробки зерна пшениці, технологічний контроль
виробництва, розрахунок технологічного обладнання, короткі відомості про
принципи НАССР, впровадження НАССР у технологічний процес

5. Перелік графічного матеріалу Додаток А. Технологічна лінія

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 10.10.2025

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	10.10.2025	Виконано
2	Аналітичний огляд літератури	17.10.2025	Виконано
3	Об’єкти і методи досліджень	29.10.2025	Виконано
4	Експериментальна частина	1.11.2025	Виконано
5	Технологічна частина	8.12.2025	Виконано
6	Соціально-економічна значущість	10.12.2025	Виконано

Здобувач

(підпис)

Дмитро СУШКОВ

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Андрій ШАРАН

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

СУШКОВ Д.Є. Дослідження зольності продуктів луцення зерна пшениці. Рукопис – 2025.

Кваліфікаційна робота зі спеціальності 181 «Харчові технології» освітньо – професійної програми «Технологія зберігання переробки зерна», Національний університет харчових технологій Міністерства освіти і науки України, Київ, 2025.

Кваліфікаційна робота присвячена оптимізації технологічного процесу луцення зерна пшениці шляхом дослідження впливу режимів роботи обладнання на якість продуктів переробки, що контролюється показником зольності.

Встановлено закономірності зміни зольності лущеного ядра та мучки залежно від тривалості луцення та індексу луцення, а також вплив зернистості абразивних кругів (40, 60 та 80 од.). Доведено, що зольність ядра лінійно зменшується, тоді як зольність мучки має криволінійну залежність із чітко вираженою точкою екстремуму.

На основі математичного моделювання визначено критичний технологічний поріг: індекс луцення, що перевищує 10 %, є економічно недоцільним. При цьому значенні відбувається зрізання низькозольної крохмалистої частини ендосперму в мучку, що призводить до втрати цінного борошністого ядра. Також підтверджено, що зернистість кругів не має суттєвого впливу на характер зміни зольності лущеного ядра.

Результати досліджень дозволяють науково обґрунтувати та вдосконалити режими луцення, забезпечуючи максимальний вихід високоякісної продукції на круп'яних підприємствах. У роботі також розроблено принципову технологічну схему круп'яного заводу продуктивністю 60 т/добу із застосуванням системи НАССР.

Ключові слова: зольність, луцення, індекс луцення, зернистість абразивних кругів, лушене ядро, мучка, точка екстремуму, оптимізація.

ABSTRACT

SUSHIKOV D. Ye. Study of Ash Content in Wheat Dehulling Products.
Manuscript – 2025.

Qualification thesis in Specialty 181 "Food Technologies," educational and professional program "Grain Storage and Processing Technology", National University of Food Technologies of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2025.

The qualification thesis is devoted to the optimization of the technological process of wheat dehulling by studying the influence of equipment operating modes on the quality of processed products, which is controlled by the ash content indicator.

The patterns of change in the ash content of the dehulled kernel and hullings (bran/fine particles) depending on the dehulling duration and dehulling index were established, as was the influence of the grittiness of the abrasive wheels (40, 60, and 80 units). It is proven that the ash content of the kernel decreases linearly, while the ash content of the hullings follows a curvilinear dependence with a clearly defined extremum point.

Based on mathematical modeling, a critical technological threshold was determined: a dehulling index exceeding 10% is economically impractical. At this value, the low-ash starchy part of the endosperm is abraded into the hullings, leading to the loss of valuable floury kernel. It was also confirmed that the grittiness of the abrasive wheels does not significantly affect the nature of the change in the ash content of the dehulled kernel.

The research results allow for the scientific substantiation and improvement of dehulling modes, ensuring the maximum yield of high-quality products at groat enterprises. The thesis also includes the development of a conceptual technological scheme for a groat factory with a capacity of 60 tons/day using the HACCP system.

Key words: ash content, dehulling, dehulling index, abrasive wheel grittiness, dehulled kernel, hullings/bran, extremum point, optimization.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ	8
1.1 Зольність зерна пшениці	8
1.2 Вплив зольності на технологічні процеси переробки зерна пшениці	10
1.3 Проблеми дослідження зольності продуктів лушення зерна пшениці	11
Висновки до розділу 1	12
РОЗДІЛ 2. ОБ'ЄКТИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ	14
2.1 Об'єкт і предмет досліджень	14
2.2 Підготовка зерна пшениці	14
2.3 Лушення зерна пшениці	14
2.4 Методика визначення зольності ядра та мучки	16
2.5 Обробка експериментальних даних	17
Висновки до розділу 2	18
РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА	19
3.1 Визначення показників якості зерна пшениці	19
3.2 Дослідження зольності продуктів лушення зерна пшениці	19
3.3 Дослідження впливу індексу лушення на зольність продуктів лушення	24
Висновки до розділу 3	29
РОЗДІЛ 4. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	30
4.1 Опис технологічної лінії переробки зерна пшениці	30
4.2 Технологічний контроль виробництва	35
4.3 Розрахунок технологічного обладнання	39
Висновки до розділу 4	43
РОЗДІЛ 5. СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНА ЗНАЧУЩІСТЬ	44
5.1 Короткі відомості про принципи НАССР	44
5.2 Впровадження НАССР у технологічний процес	46
Висновки до розділу 5	51
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	52
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	54
ДОДАТОК А. Технологічна лінія	57
ДОДАТОК Б. Тези наукових досліджень	58

ВСТУП

Актуальність теми. Актуальність дисертаційного дослідження зумовлена необхідністю наукового обґрунтування та оптимізації ключових технологічних параметрів процесу лущення зерна пшениці з метою підвищення ефективності виробництва та забезпечення стабільної якості готової продукції на круп'яних і борошномельних підприємствах.

Дослідження підтверджує, що показник зольності є критичним, хоча й непрямим, індикатором ефективності сепарації анатомічних частин зерна (оболонок і ендосперму). Це вимагає впровадження точних науково обґрунтованих методів контролю для забезпечення відповідності сировини та напівфабрикатів встановленим стандартам якості.

Актуальність роботи полягає у встановленні впливу змінних технологічних факторів, зокрема зернистості абразивних кругів (40–80 од.) та тривалості лущення, на якісні характеристики продуктів переробки (зольність ядра та мучки). Встановлення цих залежностей забезпечує можливість налаштування обладнання для досягнення максимальної продуктивності.

Результати дослідження є базою для розробки та вдосконалення технологічних схем (наприклад, для круп'яного заводу продуктивністю 60 т/добу), що відповідають сучасним вимогам до безпечності харчової продукції, включаючи імплементацію системи НАССР та дотримання міжнародних стандартів (ISO).

Таким чином, дане дослідження вирішує нагальні завдання галузі, надаючи науково обґрунтовані рекомендації щодо оптимізації технології лущення пшениці, необхідні для підвищення якості продукції та ефективності використання сировинних ресурсів.

Мета досліджень полягає у встановленні зольності ядра та мучки при різній зернистості абразивних кругів.

Відповідно до мети досліджень поставлено наступні завдання:

-дослідити зольність продуктів лущення при різній тривалості лущення;

-дослідити зольність продуктів лушення при зернистості абразивних кругів 40 од.;

-дослідити зольність продуктів лушення при зернистості абразивних кругів 60 од.;

-дослідити зольність продуктів лушення при зернистості абразивних кругів 80 од.;

-провести математичну обробку експериментальних даних.

Наукова новизна. Підтверджено, що зольність лущеного ядра змінюється за лінійною залежністю, а зольність мучки змінюється за криволінійною залежністю. Досліджено вплив зернистості абразивних кругів на зміну зольності ядра та мучки.

Практичне значення отриманих результатів. Зернистість абразивних кругів не впливає на зміну зольності лущеного ядра. Показано, що зі зниженням зернистості абразивних кругів, величина індексу лушення також зменшується. Показано наявність точок екстремуму. Збільшувати індекс лушення більше точки екстремуму, яка становить 10 % недоцільно із-за того, що відбувається стирання низькозольного ендосперму.

Особистий внесок магістранта. Експериментальна частина виконувалась особисто здобувачем та обговорювалась із науковим керівником.

Структура та об'єм роботи. Кваліфікаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів та загальних висновків. Робота викладена на 59 сторінках машинописного тексту, має 9 рисунків, 17 таблиці. Список літератури включає 14 бібліографічних джерел.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1. Зольність зерна пшениці

Зольність – це кількість золи, яка утворюється при спалюванні зерна та його продуктів переробки. Її розраховують у відсотках на суху речовину. Зольність має велике значення для контролю відокремлення оболонки від ендосперму і оцінки його якості.

Складові частини зерна різних сортів пшениці мають різну зольність (таблиця 1.1).

Таблиця 1.1 – Зольність зерна різних складових частин зерна пшениці та жита.

Складові частини зерна	Пшениця	Жито
Ціле зерно	1,50...2,20	1,68...2,06
Ендосперм	0,36...0,60	0,36...0,67
Оболонки	7,30...10,80	3,18...3,92
Алейроновий шар	---	6,45...8,91
Зародок	5,00...6,70	4,48...6,03

Зольність ендосперму зерна пшениці та жита в окремих його частинах неоднакова. Вважається, що зольність в центрі ендосперму є найменша, а по мірі наближення до периферійних шарів дещо зростає. Найбільша зольність в зерні пшениці та жита спостерігається в алейроновому шарі (близько 60 % всієї золи, яка міститься в зерні).

Зольність зерна ярої м'якої пшениці становить в середньому 2,23 %, при коливаннях від 1,26 % до 2,97 %, ярої твердої – 2,20 % (від 1,32 % до 3,04 %) і у зерні озимої пшениці – 1,95 % (від 1,28 % до 2,79 %).

Зольність зерна твердої та м'якої пшениці в середньому відносно однакова при значних її коливаннях – для твердої пшениці від 1,44 % до 2,03 % і для м'якої від 1,45 до 2,05 %. Ці коливання є наслідком різної зольності не

тільки ендосперму зерна, але і оболонки з алеїроновим шаром, зольність яких становить відповідно 5,76...8,84 % і 5,96...9,12 %.

При майже однаковій зольності м'якої та твердої пшениці зольність ендосперму твердої пшениці в середньому вище, ніж м'якої пшениці – 0,53 % проти 0,41 %.

Прямого зв'язку між крупністю зерна і його зольністю немає, хоча в дрібному зерні вона в відсотковому відношенні збільшується внаслідок відносного збільшення оболонкових продуктів із різко підвищеною зольністю. Зерно недозріле і пошкоджене відрізняється від нормального більш високою зольністю. В табл. 1.2 наведено дані щодо зольності зерна пшениці різної крупності.

Таблиця 1.2 – Зольність зерна пшениці сорту Українка різної крупності.

Розмір зерна	Зольність, %			Різниця між мінімальною та максимальною зольністю, %
	мінімальна	максимальна	середня	
Вихідне зерно	1,44	2,10	1,80	0,66
Схід сита:				
2,5×20 мм	1,42	2,10	1,76	0,68
2,25×20 мм	1,42	2,26	1,81	0,84
2,0×20 мм	1,51	2,23	1,86	0,72
1,75×20 мм	1,61	2,48	1,86	0,87
Прохід крізь сито 1,75×20	1,76	2,56	1,97	0,80
Різниця в зольності зерна сходу з сита 2,5×20 і зерна, яке пройшло крізь сито 1,75×20 мм	0,34	0,46	0,34	---

Дані таблиці показують, що різниця в зольності дрібного та крупного зерна пшениці значно менше різниці в зольності між окремими зразками зерна однієї і тієї ж крупності.

В зерні із низькою об'ємною вагою і масою 1000 зерен, тобто при плохій його виповненості, зольність різко збільшується. Між зольністю зерна і ендосперму, а також масою зерна не існує сильної залежності. Загальна кількість зерна і її склад залежать від сорту, ґрунтово-кліматичних умов і добрив, які використовуються. Відмічається деяка залежність зміни величини зольності в залежності від району вирощування, в тому числі хімічний склад ґрунтів. У відповідності із кількісним вмістом мінеральні речовини в зерні прийнято поділяти на:

- 1.Макроелементи – P, K, Mg, Na, Fe, S, Al, Si, Ca;
- 2.Мікроелементи – Mn, B, Sr, Cu, Zn, Ba, Ti, Li, I, Br, Mo, Co тощо;
- 3.Ультрамикроелементи – Cs, Se, Cd, Hg, Ag, Au, Ra.

При зволоженні (гідротермічній обробці) зольність оболонки та ендосперму зменшується, а зольність зародку збільшується. Це відбувається одночасно із переміщенням поживних речовин, переведених в результаті активізації ферментів у водорозчинний стан, до зародку під впливом теплового масоперенесення і дії клітин, які знаходяться на межі між зародком та щитком. Зольність враховують при розрахунку виходів готової продукції із зерна. Зольність лише орієнтовно відображає дійсне співвідношення борошністого ядра і оболонкових частинок зерна. По цій причині розрахунки виходів продукції по зольності зерна мають умовний характер і не завжди бувають достатньо точними.

1.2. Вплив зольності на технологічні процеси переробки зерна пшениці

В основі технологічного процесу переробки зерна в сортове борошно лежить розділення анатомічних частин зерна з метою видалення у висівки плодових та насінневих оболонок, алеїронового шару та зародка. Мінеральні речовини в зерні розташовані нерівномірно. Основна кількість їх міститься в

оболонках, алеїроновому шарі та зародку. Відомо, що на частку оболонок із алеїроновим шаром приходить близько 75 %, а на частку зародка 8,5 % усіх мінеральних речовин зерна. Зольність ендосперму становить 0,2...0,60 %. Оболонки, потрапляючи у борошно, збільшують їх зольність. Відповідно, за зольністю можна непрямо робити висновки щодо правильності ведення технологічного процесу. Саме тому зольність є одним із основних показників якості борошна.

Зольність не завжди є об'єктивним показником. Це пов'язано із тим, що зольність цілого зерна є змінною величиною. Так само і непостійна зольність окремих анатомічних частин зерна. Зольність центральних і периферійних частин ендосперму також неоднакова. В результаті непостійної зольності зерна і його окремих анатомічних частин не завжди можна правильно робити висновки щодо повноти видалення периферійних частин із борошна. Більш точним показником є визначення вмісту клітковини в борошні.

Вміст сирої клітковини та золи в пшениці тісно пов'язані із вмістом висівкових частинок у ній, а вихід борошна знаходиться у зворотній залежності від них. Дрібне та щупле зерно зазвичай містить у відсотковому відношенні більше висівкових частинок і відповідно більше сирої клітковини та золи, тому і дає менший вихід борошна, ніж крупне, добре виповнене зерно. Мінеральні речовини складають 2...5 % на сухі речовини зерна. Однак визначити вміст клітковини в борошні досить складно і тому на практиці цей аналіз лабораторії не виконують.

Зольність зерна є основним показником, за яким контролюють ступінь очищення і обробки поверхні зерна в зернооисних відділеннях, якість проміжних продуктів розмелу зерна, якість товарних сортів борошна, манної крупи та висівок.

1.3. Проблеми дослідження зольності продуктів лущення зерна пшениці

Луцильні машини призначені для зняття квіткових оболонок у ячменя, вівса, проса, рису, плодових оболонок у гречки або насінневих оболонок у

гороха. В процесі лущення отримують ядро, нелущені зерна, подрібнене ядро, мучку та лузгу. Кожен із цих продуктів має свою зольність.

Як було показано вище, зольність зерна є важливим показником, який характеризує не тільки вміст мінеральних речовин в зерні, ендоспермі або оболонках, але і є «непрямою» характеристикою ефективності ведення технологічного процесу переробки зерна.

Різними дослідниками вивчалися зміни зольності лущеного зерна пшениці, жита, ячменю, кукурудзи, гороху, сорго. Але переважна більшість досліджень дає можливість простежити закономірності зміни зольності лущеного ядра, а дослідженням закономірностей змін зольності мучки майже не приділяється увага. Для технологічного процесу сам аналіз зольності мучки може дати важливу інформацію щодо правильності його ведення.

Серед проаналізованих наукових робіт, які присвячені лущенню зерна пшениці можна виділити закордонні дослідження Fares C., Gys W., Hareland G.A., Singh N., Tibola C. S. із співробітниками. Дослідження вказаних авторів наводять лінійні залежності зміни зольності ядра пшениці від тривалості лущення не торкаючись технології переробки зерна. Більш обґрунтовані дослідження зольності лущеного зерна пшениці проведені Верещинським О.П., який показав, що зі збільшенням індексу лущення до 11 % зольність мучки збільшується, а подальше збільшення індексу лущення понад 11 % призводить до зниження зольності мучки. Дослідження були проведені із використанням абразивних кругів марки 14A F60 CM1, які мали зернистість 25 од. Недоліком даних досліджень є те, що дослідження були проведені лише на одному типі абразивних кругів без зміни зернистості кругів.

Висновки до розділу 1

- 1.Розглянуто вміст зольності в зерні пшениці.
- 2.Показано вплив зольності на технологічні процеси переробки зерна пшениці.

3.Охарактеризовано основні проблеми дослідження зольності продуктів
лущення зерна пшениці

4.Встановлено необхідність дослідження зольності продуктів лущення
пшениці.

РОЗДІЛ 2

ОБ'ЄКТИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Об'єкт і предмет досліджень

Об'єктом досліджень є технологія лушення зерна пшениці.

Предметом досліджень є вплив режимів лушення зерна пшениці на зміну зольності ядра та мучки.

2.2. Підготовка зерна пшениці

Перед проведенням досліджень, зерно пшениці очищалося в лабораторному зерноочисному сепараторі ЗЛС з метою виділення дрібних домішок, піску та битих зерен. В лабораторному сепараторі були встановлені такі решітні полотна: 3,0×20 мм; 2,4×20 мм; 1,8×20 мм.

Фракція зерна пшениці виділена проходом решітного полотна 2,4×20 мм направлялася у відходи. Сходові фракції 3,0×20 мм та 2,4×20 мм об'єднувалися і суміш направлялася на очищення в лабораторний аспіраційний канал з метою виділення легких домішок та частково дрібних та битих зерен, які не були виділені в зерноочисному сепараторі. Очищене зерно після проходу через аспіраційний канал використовувалося для подальших досліджень.

В очищеному зерні визначали такі показники якості: натура зерна, скловидність зерна, вологість зерна та масу 1000 зерен за загально прийнятими методиками.

2.3. Лушення зерна пшениці

Лушення пшениці здійснювали в лабораторному лушильнику УЛЗ-1 («Олис», м.Одеса, Україна). В усіх дослідженнях масу зерна пшениці брали 100 г. Швидкість обертання абразивних дисків була незмінною і становила 1500 об/хв (29,6 с⁻¹). На рис. 2.1 зображено принципову схему очищення лушеного ядра від мучки.

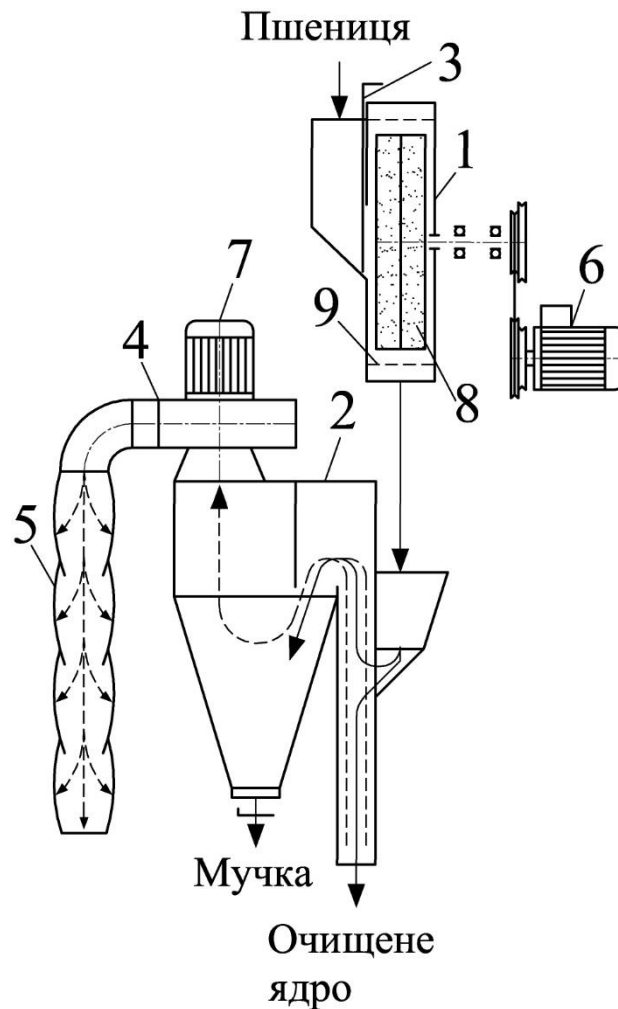


Рисунок 2.1. Принципова схема луцення зерна пшениці: 1 – корпус лущильника УЛЗ-1; 2 – лабораторний аспіраційний канал; 3 – засувка; 4 – вентилятор; 5 – фільтрувальний рукав; 6 – привід робочих органів (електродвигун); 7 – привід вентилятора; 8 – абразивні диски; 9 – решітна обичайка (з отворами Ø2,3 мм).

Луцення зерна пшениці полягало в наступному: наважку зерна масою 100 г завантажували у лущильник УЛЗ-1, вмикали машину і виставляли потрібну тривалість луцення, яка змінювалася від 20 до 100 с із кроком 20 с. Тривалість луцення встановлювали за допомогою таймера, яким обладнано лущильник УЛЗ-1. Значення тривалості роботи лущильника приймали на 5 с більше за потрібне. Це робилося з метою врахування часу на відкриття засувки та пересипання зерна пшениці безпосередньо у робочу зони машини. Відкривання засувки здійснювалося після натискання кнопки «Пуск».

Після закінчення часу роботи машини, робота двигуна автоматично вимикалася, відкривалася нижня засувка (на схемі не показано) і лушене ядро і частина мучки пересипалася у збірну ємність.

Кожний режим лушення повторювався не менше п'яти раз з метою накопичення достатньої кількості мучки для подальших досліджень зольності.

Після очищення ядра від мучки, як показано на рис. 2.1, ядро зважувалося і визначався індекс лушення за формулою:

$$I_{\text{л}} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100 \quad (2.1)$$

де m_1 , m_2 – відповідно маса зерна до та після лушення, г.

Мучка та ядро отримані при кожному режимі лушення збиралися в окремі пакети і направлялися на озолення.

Зернистість абразивних кругів приймали виходячи із даних, які вказувалися заводом виробником на кругах.

2.4. Методика визначення зольності ядра та мучки

Озолення мучки та лушеного ядра здійснювалося відповідно до ISO 2171:2023 Cereals, pulses and by-products. Determination of ash yield by incineration.

Ядро лушеного зерна пшениці подрібнювалося у лабораторному млинку ЛМТ. Отриманий продукт інтенсивно перемішувався для досягнення рівномірності розподілу зольних елементів по всьому об'єму продукту. З метою уникнення змішування продуктів різної зольності, після кожного подрібнення зразка лабораторний млинок ЛМТ-1 ретельно очищався і протирався вологою ганчіркою.

Наважка масою 1 г спалювалася в тиглях у муфельній печі протягом 4 годин. Після озолення тиглі із золою охолоджувалися і зважувалися на аналітичних вагах. Зольність ядра пшениці та мучки визначалися без використання прискорювача.

Зольність розраховувалася за формулою:

$$Z = \frac{m_3 \times 100 \times 100}{m_n(100 - W)} \quad (2.2)$$

де m_3 – маса золи, г; m_n – маса наважки, г; W – вологість продукту, %.

Для визначення зольності зерна на сухі речовини, паралельно визначалася вологість зразків шляхом висушування наважки масою 5 г подрібненого продукту у сушильній шафі СЕШ-3М протягом 60 хв відповідно до ISO 712:2009(E). «Cereals and cereal products. Determination of moisture content».

Кожний зразок продукту визначався у п'ятикратній повторності. Після чого проводився аналіз отриманих результатів.

2.5. Обробка експериментальних даних

Отримані результати досліджень подавали у графічному та табличному вигляді для кращого сприйняття та обробки експериментальних даних. Математичну обробку отриманих експериментальних даних здійснювали із використанням методу найменших квадратів із застосуванням програмного забезпечення MS Excel та Advanced Grapher.

В процесі обробки визначалися коефіцієнти детермінації, коефіцієнти кореляції та стандартні відхилення.

При п'яти визначеннях за дійсне значення приймали середньоарифметичне значення із п'ятих повторностей.

Інтервал надійності навколо середнього значення розраховували за такою методикою.

Середнє значення зольності розраховували за формулою:

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} \quad (2.3)$$

де $\sum_{i=1}^n y_i$ – сума експериментальних значень зольності, %; n – кількість повторностей одного досліджу.

Дисперсія визначалася за формулою:

$$S_{yk}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_k - \bar{y})^2}{n-1} \quad (2.4)$$

Стандартне відхилення окремого визначення розраховувалося за формулою:

$$S_{yk} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_k - \bar{y})^2}{n-1}} \quad (2.5)$$

Стандартне відхилення середнього значення розраховувалося за формулою:

$$S_{\bar{y}} = \frac{S_{yk}}{\sqrt{n}} \quad (2.6)$$

Величина довірчої похибки $\varepsilon_{\bar{y}}$ визначалася за допомогою критерія Стюдента. Знаходили табличне значення t-критерія Стюдента при довірчому інтервалі $\alpha = 0,95$ і ступені вільності $f = n - 1$. Помилку отриманого середнього результату визначали за формулою:

$$\varepsilon_{\bar{y}} = t \cdot S_{\bar{y}} \quad (2.7)$$

де t – табличне значення t-критерія Стюдента

Кінцевий результат записувався у наступному вигляді середнього арифметичного значення та відхилення навколо середнього значення

$$\bar{y} \pm \varepsilon_{\alpha} \quad (2.8)$$

Висновки до розділу 2

1. Визначено об'єкт і предмет досліджень.
2. Наведено методики обробки зерна для його підготовки перед дослідженнями.
3. Описано методики проведення досліджень лущення та визначення зольності.
4. Проведено опис обробки отриманих експериментальних даних.

РОЗДІЛ 3

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1. Визначення показників якості зерна пшениці

Дослідження зольності продуктів лушення пшениці здійснювалися на одній партії зерна, основні показники якої наведено в таблиці 3.1. Наведені показники як найбільш важливими для процесу лушення. Інші показники не визначалися оскільки вони не мають важливого значення для досліджуваного процесу.

Таблиця 3.1 – Основні показники якості зерна пшениці

Показник якості	Значення
Натура зерна, г/л	746,8±1,59
Вологість зерна, %	13,7±0,06
Скловидність зерна, %	23,2±2,6
Маса 1000 зерен, г	40±0,2

Отримані подальші результати досліджень характерні саме для цієї партії зерна пшениці і можуть відрізнятися для інших партій зерна пшениці.

3.2. Дослідження зольності продуктів лушення зерна пшениці

Зольність визначали для мучки та лушеного ядра пшениці. Параметрами, які змінювались під час досліджень були тривалість лушення та зернистість абразивних кругів лущильника. Вологість пшениці та маса завантаженого зерна у лущильник УЛЗ-1 залишалися незмінними. Оберти абразивних кругів становили $29,6 \text{ с}^{-1}$ (номінально 1500 об/хв) і були незмінними протягом усіх досліджень.

При зернистості абразивних кругів 40 од, зольність ядра лінійно зменшувалася від 1,52 % до 1,2 %. В той же час зольність мучки змінювалася за нелінійним законом як показано на рис. 3.1. Було зроблено декілька повторностей досліду для того щоб підтвердити саме нелінійну залежність зольності мучки від тривалості лушення.

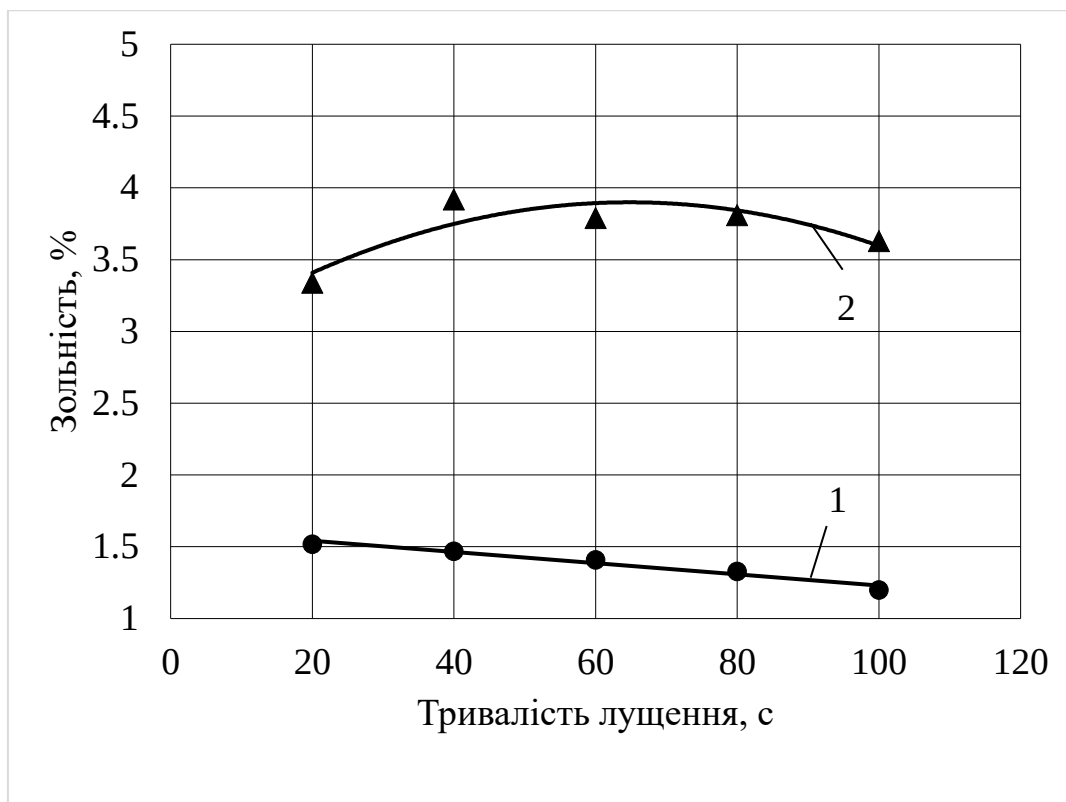


Рисунок 3.1. Зольність продуктів лушення зерна пшениці при зернистості 40 од.: 1 – зольність ядра; 2 – зольність мучки.

Отримані залежності добре апроксимуються наступними рівняннями:

-залежність зольності ядра від тривалості лушення:

$$z_{\text{м}} = -0,0039t + 1,62 \quad (3.1)$$

-залежність зольності мучки від тривалості лушення:

$$z_{\text{я}} = -0,0002t^2 + 0,0317t + 2,872 \quad (3.2)$$

де t – тривалість лушення зерна пшениці, с.

В табл. 3.2 наведено статистичні характеристики отриманих рівнянь.

Таблиця 3.2 – Статистичні характеристики рівнянь.

№ рівняння	Коефіцієнти		Стандартне відхилення, S
	кореляції, R	детермінації, R^2	
3.1	0,98	0,96	0,024
3.2	0,87	0,76	0,108

Аналіз статистичних характеристик отриманих рівнянь вказує на високу кореляцію між досліджуваними ознаками. Менше розсіювання навколо

середніх значень має місце у залежності, яка описує залежність зольності ядра від тривалості лушення.

Зі збільшенням чисельного значення зернистості, зольність продуктів лушення дещо змінювалася в сторону збільшення як для лушеного ядра так і для мучки. Результати дослідження наведено на рис. 3.2.

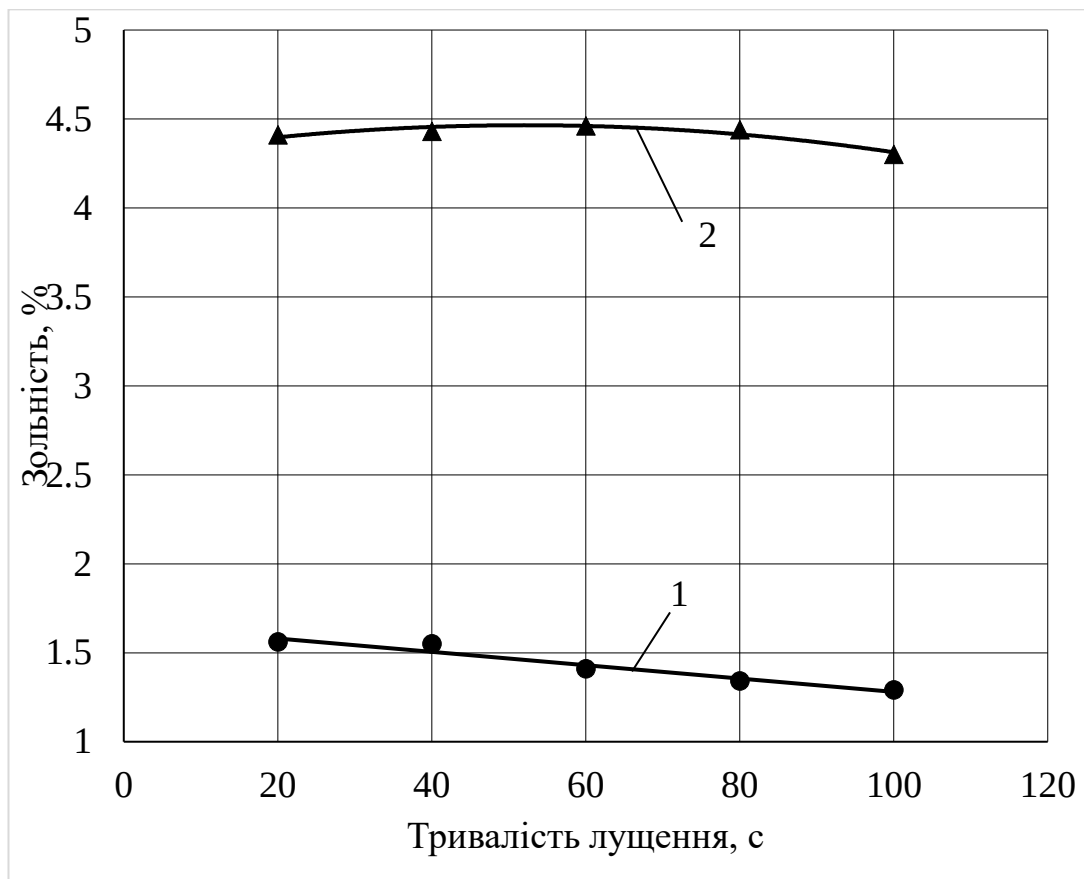


Рисунок 3.2. Зольність продуктів лушення зерна пшениці при зернистості 60 од.: 1 – зольність ядра; 2 – зольність мучки.

Зольність ядра збільшувалася на від 0,01 % до 0,09 %, а величина зольності мучки збільшувалася від 0,51 до 1,07 %. Збільшення зольності мучки та ядра можна пояснити тим, що при збільшенні величини зерноситості абразивних кругів, кількість абразивних зерен на одиницю площі поверхні збільшується, а відповідно габаритні розміри цих абразивних зерен зменшуються. Відповідно під час лушення кількість частинок зрізаних оболонок збільшується, а їх розміри зменшуються. Зменшення габаритних розмірів абразивних кругів призводить до зниження інтенсивності лушення, а саме до зменшення кількості відокремлених оболонок. Про це свідчать

результати дослідження індексу лушення, які наведено на рис. 3.3. Тобто зменшується кількість відокремлених оболонок зі збільшенням значення зернистості.

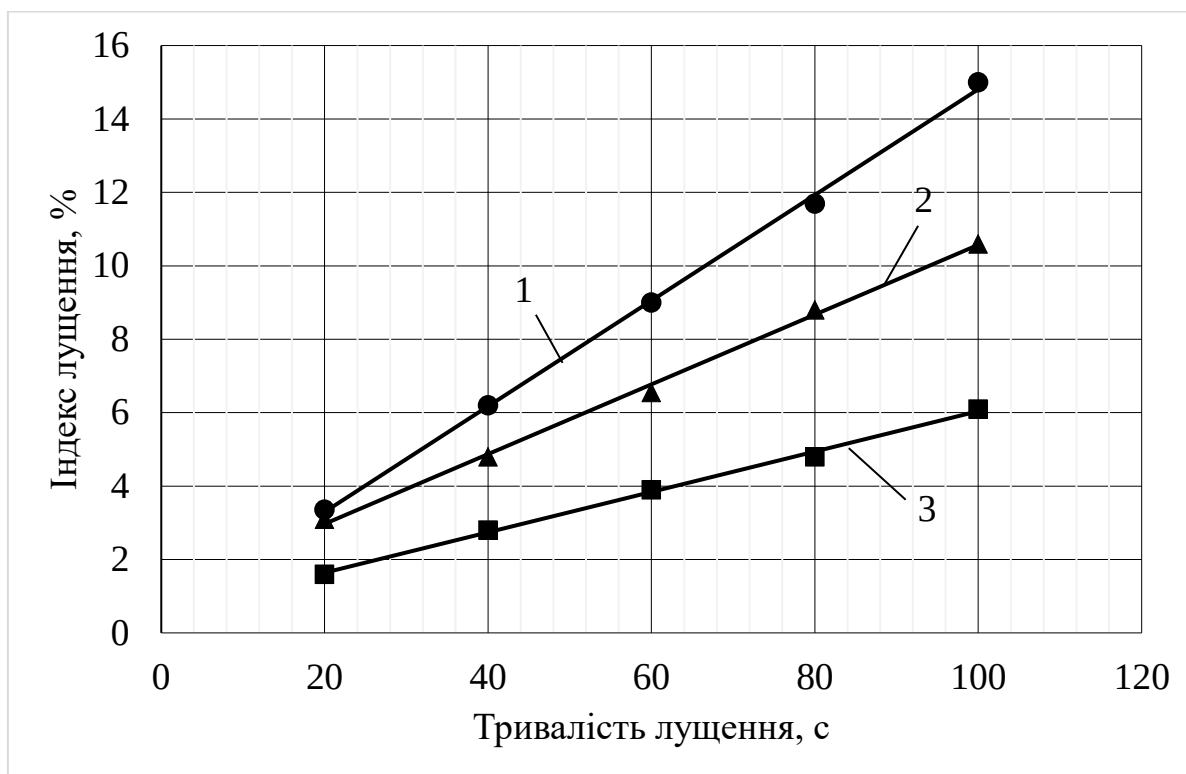


Рисунок 3.3. Індекс лушення при різній зернистості абразивних кругів: 1 – зернистість 40 од.; 2 – зернистість 60 од.; 3 – зернистість 80 од.

В свою чергу це вказує на те, що зі зменшенням зернистості зменшується кількість відокремлених від ядра низькозольних частинок, що і призводить до збільшення зольності зі збільшенням величини зернистості. Нашими дослідженнями підтверджено, що зі зниженням зернистості абразивних кругів, індекс лушення для всіх періодів лушення зменшується. Аналогічні результати але для інших параметрів лушення отримано Верещинським О.П.

Зольність продуктів лушення, які наведено на рис. 3.2 описуються наступними залежностями:

-зольність ядра:

$$z_{\text{м}} = -0,0038t + 1,655 \quad (3.3)$$

-зольність мучки:

$$z_{\text{я}} = -(6,607 \cdot 10^{-5})t^2 + 0,068t + 4,28 \quad (3.4)$$

де t – тривалість лушення зерна пшениці, с.

В табл. 3.3 наведено статистичні характеристики отриманих рівнянь.

Таблиця 3.3 – Статистичні характеристики рівнянь.

№ рівняння	Коефіцієнти		Стандартне відхилення, S
	кореляції, R	детермінації, R^2	
3.3	0,97	0,94	0,028
3.4	0,94	0,89	0,02

Аналіз статистичних характеристик отриманих рівнянь вказує на високу кореляцію між досліджуваними ознаками.

На рис. 3.4 показано результати досліджень зольності ядра та мучки від тривалості лушення зерна пшениці.

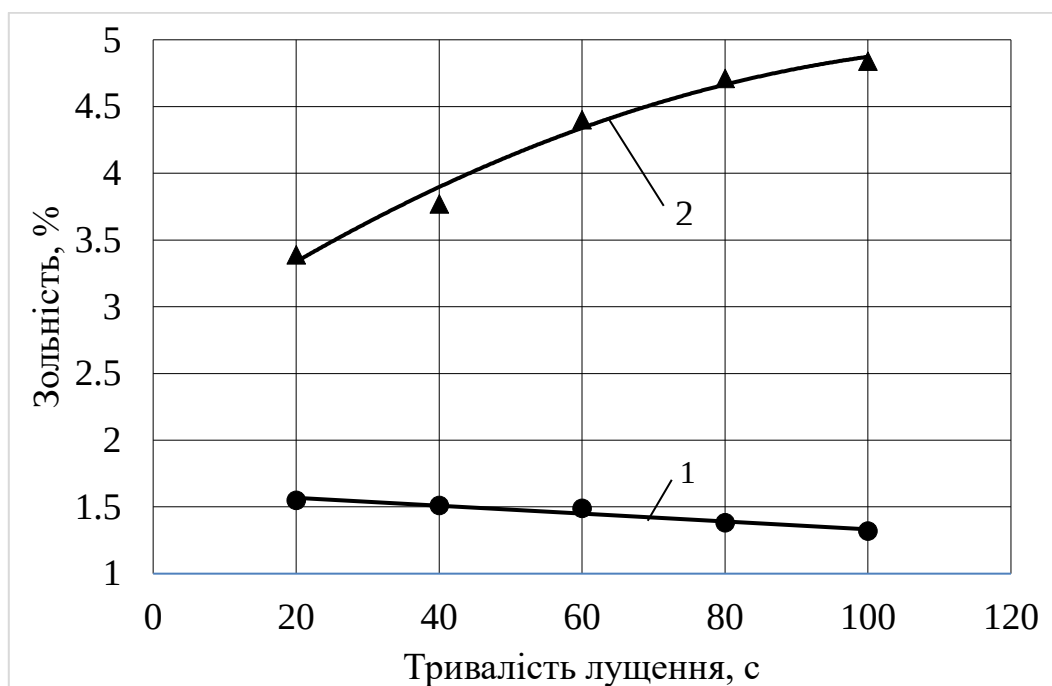


Рисунок 3.4. Зольність продуктів лушення зерна пшениці при зернистості 80 од.: 1 – зольність ядра; 2 – зольність мучки.

Крива зольності мучки підтверджує зростання зольності мучки зі збільшенням чисельного значення зернистості.

Зольність продуктів лушення, які наведено на рис. 3.4 описуються наступними залежностями:

-зольність ядра:

$$z_{\text{м}} = -0,0029t + 1,627 \quad (3.5)$$

-зольність мучки:

$$z_{\text{я}} = -(1,464 * 10^{-4})t^2 + 0,036t + 2,66 \quad (3.6)$$

де t – тривалість лушення зерна пшениці, с.

В табл. 3.4 наведено статистичні характеристики отриманих рівнянь.

Таблиця 3.4 – Статистичні характеристики рівнянь.

№ рівняння	Коефіцієнти		Стандартне відхилення, S
	кореляції, R	детермінації, R^2	
3.5	0,97	0,94	0,023
3.6	0,989	0,98	0,08

Аналіз статистичних характеристик отриманих рівнянь вказує на високу кореляцію між досліджуваними ознаками.

Проведемо аналіз лінійних рівнянь 3,1; 3,3 та 3,5. Звертає на себе увагу, що вільний член рівняння знаходиться в межах 1,62...1,65. Це вказує на те що зольність зерна пшениці знаходилась у вказаних межах.

Рівняння 3,1 та 3,3 мають практично однаковий кутовий коефіцієнт, а для рівняння 3,5 несуттєво відмінний. Але в цілому можна вважати, що зернистість не впливала на характер зміни зольності ядра. В той же час, характер зміни зольності мучки від тривалості лушення змінювався суттєво.

3.3. Дослідження впливу індексу лушення на зольність продуктів лушення

Індекс лушення лінійно пов'язаний із тривалістю лушення. Виходячи із цього представляє цікавість взаємозв'язок зольності продуктів лушення від індексу лушення.

На рис. 3.5...3.7 показано залежності зольності від індексу лушення при різних значеннях зернистості абразивних кругів.

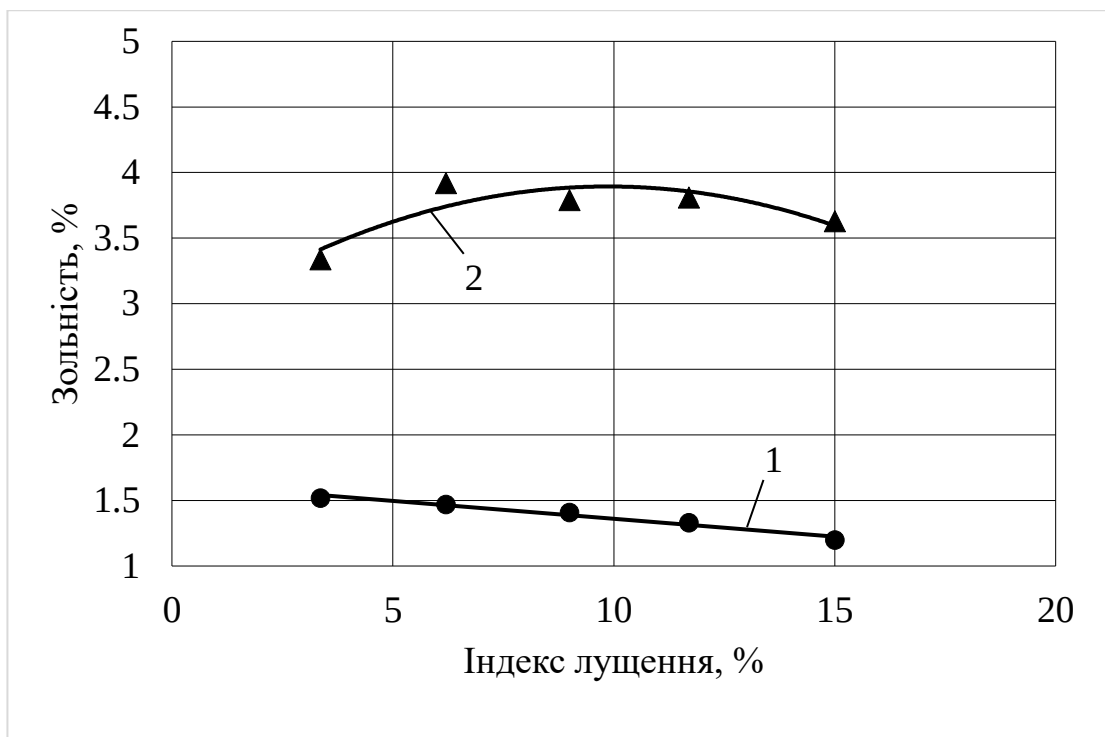


Рисунок 3.5. Вплив індексу лушення на зольність продуктів лушення при зернистості 40 од.: 1 – зольність ядра; 2 – зольність мучки.

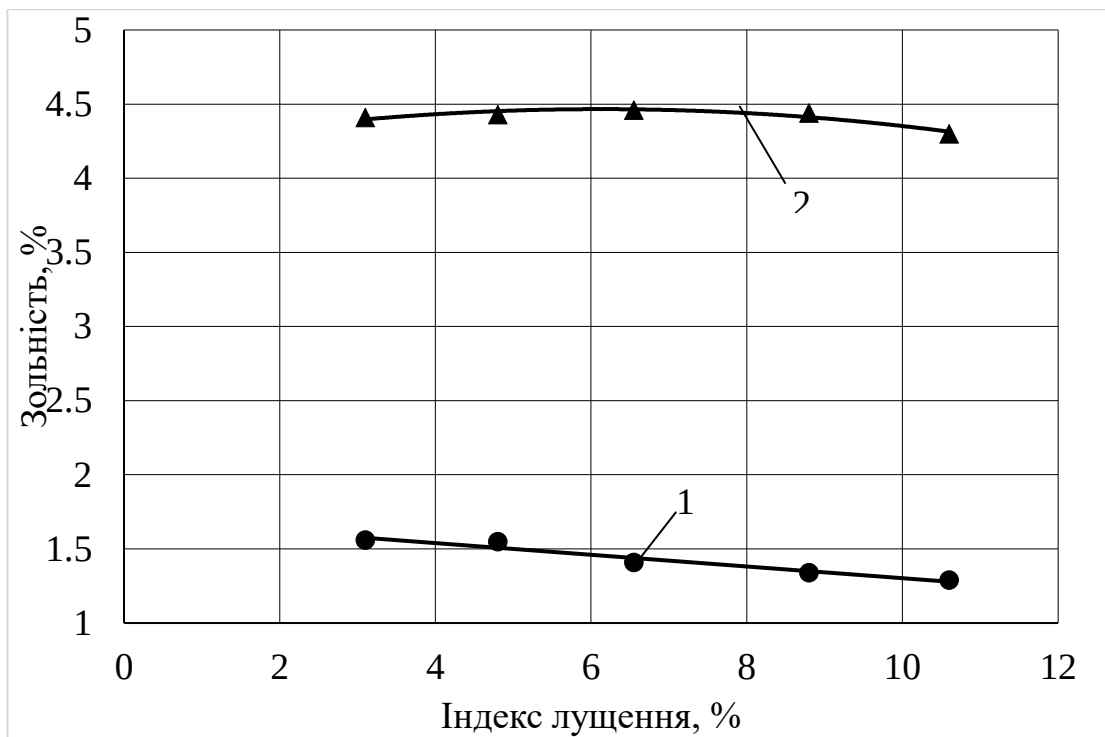


Рисунок 3.6. Вплив індексу лушення на зольність продуктів лушення при зернистості 60 од.: 1 – зольність ядра; 2 – зольність мучки.

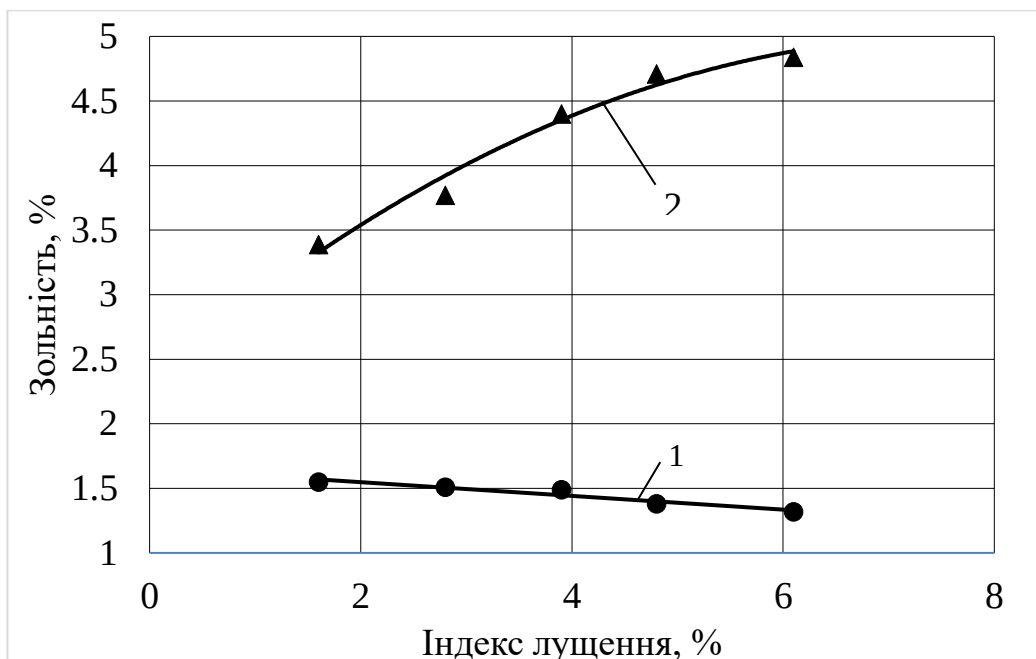


Рисунок 3.7. Вплив індексу лушення на зольність продуктів лушення при зернистості 80 од.: 1 – зольність ядра; 2 – зольність мучки.

Як можна бачити із рисунків 3.5...3.7 характер кривих зольності продуктів лушення від індексу лушення залишається незмінним як і для зміни тривалості лушення. Із рисунків можна зробити висновки, що зі збільшенням індексу лушення, зольність ядра лінійно зменшується для усіх значень зернистості абразивних кругів. Зольність мучки змінюється за більш складними залежностями.

Криві, які наведено на рис. 3.5 описуються наступними рівняннями:

$$\text{-для ядра: } z_{\text{я}} = -0,0272 \times I_{\text{л}} + 1,632 \quad (3.7)$$

$$\text{-для мучки: } z_{\text{м}} = -0,0113 \times I_{\text{л}}^2 + 0,224 \times I_{\text{л}} + 2,79 \quad (3.8)$$

де $I_{\text{л}}$ – індекс лушення, %.

Криві, які наведено на рис. 3.6 описуються наступними рівняннями:

$$\text{-для ядра: } z_{\text{я}} = -0,0395 \times I_{\text{л}} + 1,697 \quad (3.9)$$

$$\text{-для мучки: } z_{\text{м}} = -0,0076 \times I_{\text{л}}^2 + 0,093 \times I_{\text{л}} + 4,18 \quad (3.10)$$

де $I_{\text{л}}$ – індекс лушення, %.

Криві, які наведено на рис. 3.7 описуються наступними рівняннями:

$$\text{-для ядра: } z_{\text{я}} = -0,053 \times I_{\text{л}} + 1,632 \quad (3.11)$$

$$\text{-для мучки: } z_{\text{м}} = -0,045 \times I_{\text{л}}^2 + 0,694 \times I_{\text{л}} + 2,33 \quad (3.12)$$

де $I_{\text{л}}$ – індекс луцення, %.

В табл. 3.5 наведено статистичні характеристики рівнянь 3.7...3.12.

№ рівняння	Коефіцієнти		Стандартне відхилення, S
	кореляції, R	детермінації, R^2	
3.7	0,98	0,97	0,0025
3.8	0,86	0,75	0,111
3.9	0,96	0,94	0,027
3.10	0,94	0,89	0,0207
3.11	0,96	0,92	0,026
3.12	0,98	0,97	0,098

Статистичні характеристики вказують на сильні взаємозв'язки між досліджуваними ознаками.

Із рисунків 3.5...3.7 можна зробити наступний висновок, що в кривих зольності мучки простежується точки екстремуму. Іншими словами зольність мучки збільшується до точки екстремуму, а після точки екстремуму зольність мучки зменшується. Такий характер кривих вказує на те, що після точки екстремуму відбувається зрізання низькозольної частини ендосперму разом з оболонками, що і призводить до поступового зниження зольності мучки. Збільшення індексу луцення більше точки екстремуму не є доцільним із-за переходу крохмалистої частини ендосперму в мучку. Визначимо точки екстремуму для зольності мучки (рис. 3.5...3.7).

Продиференціюємо рівняння 3.8, 3.10 та 3.12 і прирівняємо до нуля.

Розрахунок точки екстремуму для кривої 3.8, яку отримано при використанні абразивних кругів із зернистістю 40 од.:

$$\frac{dz_{\text{м}}}{dI_{\text{л}}} = 2 \times (-0,0113)I_{\text{л}} + 0,224$$

$$-0,0226I_{\text{л}} + 0,224 = 0$$

$$0,0226I_{\text{л}} = 0,224$$

$$I_{\text{л}} = \frac{0,224}{0,0226} = 9,91\%$$

Розрахунок точки екстремуму для кривої 3.10, яку отримано при використанні абразивних кругів із зернистістю 60 од.:

$$\frac{dz_M}{dI_L} = 2 \times (-0,0076)I_L + 0,093$$

$$-0,0152I_L + 0,093 = 0$$

$$0,0152I_L = 0,093$$

$$I_L = \frac{0,093}{0,00152} = 6,1\%$$

Розрахунок точки екстремуму для кривої 3.12, яку отримано при використанні абразивних кругів із зернистістю 80 од.:

$$\frac{dz_M}{dI_L} = 2 \times (-0,045)I_L + 0,694$$

$$-0,09I_L + 0,694 = 0$$

$$0,09I_L = 0,694$$

$$I_L = \frac{0,694}{0,09} = 7,7\%$$

Як видно із розрахунку, для кривої 3.8 точка екстремуму знаходиться при індексу лущення 9.9 %. Після цього значення зольність мучки зменшується. Це вказує на те, що при цьому індексу лущення відбувається зрізання низькозольних частинок ендосперму. І лущити зерно із індексом лущення вище 10 % не доцільно. Аналогічний результат був отриманих О.П. Верещинським, що вказує на достовірність зроблених висновків.

Інший результат отримано для кривої зольності мучки (3.10). Ймовірно, що такий результат пов'язаний із зернистістю абразивних кругів. Зі збільшенням зернистості збільшується кількість абразивних зерен на одиницю площі круга, але розміри цих зерен зменшуються. Можна припустити, що глибина занурення абразивних кругів для зернистості 40 од. більша ніж для зернистості 60 од., але площа контакту менша. Але це твердження потребує подальших досліджень.

Для кривої зольності мучки, яку наведено на рис. 3.7 розрахункове значення становить 7.7 %, але цей результат не можна взяти для аналізу, тому, що точка екстремуму знаходиться за межами отриманої кривої.

Дослідження Верещинського О.П. показали, що зольність мучки почала зменшуватися при індексі лушення 11 % і більше, а маса завантаженого зерна становила 0,25 кг. В наших дослідженнях зольність мучки почала зменшуватися при досягненні індексу лушення 10 %. Така відмінність наших досліджень і досліджень Верещинського О.П. може бути пояснена тим, що під час досліджень використовувалося зерно із різними структурно-механічними властивостями. В наших дослідженнях скловидність зерна пшениці становила близько 30 %, що відноситься до низькоскловидного зерна. В свою чергу низькоскловидне зерно пшениці є борошністим і володіє зменшеною міцністю в порівнянні із високоскловидними сортами пшениці.

Висновки до розділу 3

1. Досліджено зольність лушеного зерна пшениці та мучки в залежності від тривалості лушення та індексу лушення..
2. Встановлено, що зольність лушеного зерна в залежності від тривалості лушення змінюється лінійно.
3. Встановлено, що зольність мучки в залежності від тривалості лушення змінюється за нелінійною залежністю.
4. Встановлено, що зольність лушеного зерна та мучки в залежності від індексу лушення змінюється за аналогічними залежностями як і при дослідженнях впливу тривалості лушення.
5. Отримано математичні залежності, які описують зміни зольності ядра та мучки. Проведено статистичний аналіз отриманих залежностей. Доведено, що між досліджуваними змінними мають сильні зв'язки.
7. З'ясовано, що характер зміни зольності лушеного ядра суттєво не залежить від зернистості абразивних кругів.
8. Показано, що лущити зерно пшениці із індексом лушення 10 % не доцільно із-за зрізання низькозольного ендосперму в розряд мучки.

РОЗДІЛ 4

ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Опис технологічної лінії переробки зерна пшениці

Управління виробничими процесами на крупозаводах має гарантувати стабільну діяльність підприємства та неухильне дотримання планових нормативів (від змінних до річних). Ключові вимоги стосуються обсягів випуску, товарної номенклатури та якісних характеристик як основної продукції, так і супутніх товарів. Технологічний процес на кожному підприємстві повинен здійснюватись:

- по затвердженій схемі даного виду переробки зернової культури;
- при додержанні режимів роботи окремих машин з урахуванням технологічних властивостей перероблюваного зерна, ефективному веденні всіх операцій по прийманню, розміщенню зерна в зерносховищах, очищенню і водотепловій обробці зерна, лущенню, шліфуванню і поліруванню зерна, розмелюванню, сортуванню, формуванню готової продукції і контролю за якістю.

Технологічний процес візуалізується у формі графічної схеми, яка розробляється індивідуально для кожного підприємства з урахуванням специфіки переробки конкретних культур та вимог чинних Правил.

Відповідальність за розробку покладається на головного інженера або начальника цеху за підтримки технологів та керівника лабораторії. Документ набуває чинності після обговорення на виробничій нараді та офіційного затвердження. Копії схеми розміщуються у ключових робочих зонах (кабінети керівників, цех, лабораторія, навчальні класи). Перегляд та перезатвердження схеми здійснюються не рідше одного разу на три роки.

Технологічна схема перезатверджується не пізніше одного разу на три роки.

Принципові технологічні схеми по виробництву круп "Полтавські" та "Артек" наведені в додатку №1. Крупи "Полтавські" та "Артек" виробляють з твердої пшениці (дурум).[2]

Зерноочисне відділення

Технологічний процес підготовки пшениці в зерноочисному цеху передбачає очищення через:

- видалення найбільш крупних сторонніх включень забезпечується шляхом разового пропускання зернової маси через скальператор (1.1);
- комплексне первинне очищення: одноразове пропускання всієї зернової партії через універсальний сепаратор (3.1), який за один прохід забезпечує видалення крупних, дрібних та легких домішок;
- видалення мінеральних домішок: Уся маса зерна одноразово пропускається через каменевідбірну машину (4.1) для відділення важких мінеральних включень (каміння);
- сортування за крупністю: Проводиться поділ зернової маси на дві фракції (велику та дрібну) за допомогою пробивного сита (2,4 x 20 мм) у розсійнику (5.1). Мета поділу — підвищення ефективності відокремлення дрібних домішок через наступне роздільне очищення обох потоків;
- додаткове очищення великого зерна: крупна фракція (схід із сита 2,4 x 20 мм) одноразово надходить до сепаратора другого проходу (3.2) для додаткового вилучення крупних домішок та повторного виділення дрібного зерна;
- фракціонування дрібного зерна: дрібна фракція пропускається через сепаратор третього проходу (3.3) зі спеціальними ситами для точного сортування. Корисна дрібна фракція відбирається сходом із сита 1,7–2,0x20 мм. Найдрібніше зерно (прохід) після контрольного просіювання у бураті (16.1) спрямовується у відходи I–II категорій;

- триєрування: Крупна фракція зерна (після сортування на ситах 1,7–2,0 x 20 мм) одноразово подається до вівсюговідбірника (7.1). Цей апарат видаляє домішки (такі як овес, вівсюг, ячмінь), які відрізняються від пшениці довжиною зерна;

- вилучення кукілю та в'юнка: Дрібна фракція зерна (одержана сходом із сит 1,7–2,0 x 20 мм) одноразово пропускається через кукілевідбірник (6.1) для відділення кукілю, в'юнка та інших дрібних домішок, що мають круглу форму.

Калібр перфорації сит у сепараторах визначається відповідно до крупності зерна поточної перероблюваної партії. Рекомендовані параметри розмірів отворів сит наведені у таблиці 4.1

Таблиця 4.1 - Розміри отворів пробивних сит сепараторів для очищення зерна пшениці

Сепаратори	Розміри отворів сит, мм	
	верхнього	нижнього
1 – а система	3,5 – 4,0 × 20	1,7 – 2,0 × 20
2 – а система	Ø 4,5	2,4 × 20
3 – а система	Ø 3,5	1,7 – 2,0 × 20

Для підготовки до лушення пшениця проходить кондиціонування у зволожувальній машині (8.1), де теплою водою доводиться до кінцевого вмісту вологи 14,5–15,0%. Час відволоження (витримки) встановлюється індивідуально — від 30 хвилин до 2 годин, з урахуванням скловидності та початкової вологості сировини.

Лушення здійснюється шляхом подвійної обробки в машинах (9.1 і 9.2) з абразивними робочими органами. Ефективне видалення лушпиння та пилу гарантується пневматичною сепарацією (аспіратори 10.1 і 10.2) після кожного лущильного проходу.

Технічні характеристики оббивальних машин наведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 - Параметри робочих органів оббивальних машин для лущення зерна пшениці

Лущильна система	Колова швидкість бичів, м/с	Ухил бичів, %	Зазор між бичами і абразивною поверхнею, мм	Склад абразивного матеріалу, %, при зерності				
				160	125	100	80	63
1	16	10	20	20	20	30	30	-
2	14	8	20 – 25	-	20	20	30	30

Вміст подрібнених зерен у продукті після обробки оббивальними машинами (9.1 і 9.2) не повинен бути вищим за 15% (це максимальний ліміт).

На другій або обох лущильних системах дозволено замінювати оббивальні машини на агрегати типу А1-ЗШН. Ключовою умовою при цьому є забезпечення колової швидкості дисків у межах 16–18 м/с.

Відноси лущення підлягають контрольному просіюванню (16.2) на ситах Ø 2,5 мм або №2,2. Уся фракція, що затрималася (схід), повертається на 1-у шліфувальну систему для доопрацювання, а прохід (дрібне сміття) виводиться у відходи.

Лущильне відділення

Лущене зерно послідовно піддається триразовому шліфуванню та триразовому поліруванню (загалом шість систем). Для видалення висівок та пилу передбачене проміжне провіювання (аспірація) після 2-ї шліфувальної (11.1.2 і 11.2.2) та 2-ї полірувальної (11.2.4) систем, а також проміжне просіювання після 3-ї шліфувальної системи.

Для розділення полірованої крупи на товарні фракції («Полтавські» номери та «Артек») використовується система розсійників (5.1–5.8). Параметри сит, необхідні для цього сортування, регламентовані у таблиці 4.4 відповідно до вимог до крупності кожного номеру. [2]

Таблиця 4.3 - Параметри робочих органів машин А1-ЗШН на шліфуванні та поліруванні лущеної пшениці

Система	Колова швидкість дисків, м/с	Період обробки при одноразовому пропуску, с	Розмір отворів ситового циліндра, мм	Склад абразивного матеріалу, %, при зерності			
				160	125	100	80
1 – а шліфувальна	16 – 18	12 – 25	1,0 ×15	60	40	-	-
2 – а і 3 – а шліфувальні	16 – 18	12 – 25	1,0 ×15	-	60	40	-
1 – а полірувальна	20 – 22	15 – 30	0,8 ×15	-	20	40	40
2 – а і 3 – а полірувальна	20 – 22	15 – 30	0,8 ×15	-	-	60	40

Таблиця 4.4 - Розмір отворів пробивних сит для сортування пшеничних круп за крупністю

Види і номери круп	Діаметр отворів двох суміжних сит, мм	
	прохід	схід
Полтавські №1	3,5	3,0
№ 2	3,0	2,5
№ 3	2,5	2,0
№ 4	2,0	1,5
«Артек»	1,5	№ 063 (із дротяної сітки)

Для забезпечення високої ефективності фракціонування, норма проходу і сходу для кожного з двох суміжних сит окремо повинна становити мінімум 80%.

Контроль якості мучки проводиться у два етапи: спочатку просіювання на дротяній сітці № 063 (для визначення вмісту ядра), а потім пропуск крізь магнітні апарати для видалення металоодмішок.

Для проведення ситового контролю побічних продуктів, таких як мучка, лузга та відходи I і II категорій, допускається використання різноманітних сортувальних агрегатів. До цього переліку належать бурати, центрифугалі, крупосортувалки та розсійники.

4.2 Технологічний контроль виробництва

Контроль технологічного процесу, якості сировини і готової продукції ведеться з метою виявлення і налагодження режимів переробки зерна відповідно до умов, які забезпечують одержання продукції найвищої якості з високим виходом, а також найповніше використання сировини та обладнання. Контроль ведеться ВТЛ шляхом лабораторного аналізу зерна, яке надходить, проміжних продуктів, готових круп і відходів, відібраних у контрольних точках технологічного процесу, та обслуговуючим персоналом на робочих місцях.

Виробничо-технологічна лабораторія (ВТЛ) здійснює контроль на основі лабораторного аналізу зразків, відібраних у контрольних точках технологічного процесу.

Цей контроль базується на аналізі якості таких об'єктів:

- вхідна сировина: зерно, яке надходить на переробку.
- проміжні продукти (напівфабрикати): продукти на різних етапах обробки (наприклад, після лущення, перед шліфуванням).
- готова продукція: крупи кожного номеру.
- побічні продукти та відходи: мучка, лузга, відходи I та II категорій.

Співробітники ВТЛ (включно з керівництвом та лаборантами) здійснюють систематичний контроль усього технологічного циклу, зосереджуючись на кількох ключових напрямках:

- управління сировиною - нагляд за правильним розміщенням, зберіганням, очищенням, сушінням та формуванням партій зерна;
- ефективність виробництва - оцінка технологічної ефективності роботи окремого обладнання та виробничого цеху в цілому;
- якість продукції - контроль якості готової продукції та відходів;
- реагування - вжиття оперативних заходів для недопущення випуску неякісної або нестандартної продукції;
- облік та звітність - своєчасний розрахунок і складання звітності щодо виходу продукції та її якісних показників.

Контроль технологічного процесу здійснюється за графіками контролю виробництва і роботи технологічного обладнання, які визначають:

- об'єкти контролю;
- місця і засоби відбирання проб;
- найменування контрольних показників;
- регламентований норматив (за чинним НТД);
- періодичність контролю;
- осіб, які здійснюють контроль.

Об'єктами контролю виробництва обов'язково повинні бути: зерно під час надходження у зерноочисне відділення круп'яного цеху; зерно після очищення та водотеплової обробки, яке надходить на першу лушильну систему; продукти лущення та шліфування; побічні продукти; крупи; відходи. Графіки розробляє начальник ВТЛ і начальник круп'яного цеху (старший майстер), а затверджує головний інженер підприємства. [2]

Результати контролю фіксуються у спеціальних журналах. На основі цих результатів старший майстер і його змінні помічники вживають заходи щодо усунення виявлених недоліків і поліпшення технологічного процесу.

Під час контролю технологічного обладнання по очищенню слід керуватися даними, наведеними в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 - Необхідна ефективність роботи зерноочисних машин

Обладнання	Ефективність роботи
Сепаратори, аспіратори із замкнутим циклом повітря (після усіх послідовних пропусків)	Повне відокремлення крупного сміття. Відокремлення дрібного і легкого сміття не менше 95%
Трієри	Відокремлення куколю та коротких домішок не менше 90% Відокремлення вівсюга, вівса, ячменю не менше 80%
Каменевідбірники	Відокремлення мінеральних домішок не менше 95%

Контроль зерноочисного обладнання є плановим (визначається графіком) і повинен проводитися з періодичністю не менше двох разів на місяць.

Оцінка технологічної ефективності роботи очисних машин (сепараторів, аспіраторів, трієрів) здійснюється на основі порівняння якісних показників двох зразків: зерна, яке надходить на обробку, та основного очищеного зерна, отриманого на виході з машини.

Загальна оцінка технологічного ефекту роботи всього зерноочисного відділення базується на порівнянні якісних показників зерна на вході у відділення (до очищення) та на виході (зерна, яке спрямовується на першу лушильну систему).

Конкретні способи та технологічні режими здійснення водотеплової обробки (пропарювання та просушування) для зерна пшениці встановлені та деталізовані у таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 - Способи і режими водотеплової обробки зерна пшениці

Культура	Способи та режими водотеплової обробки
Пшениця	Зволоження до вологості 14,5— 15,0% з подальшим відволоженням (залежно від скловидності зерна і ступеня зволоження) від 30 хв. до 2 год. Витрати води на зволоження 1 т зерна становить 25 л
Крупи перлові, пшеничні під час виробництва швидкорозварюваних круп	Зволоження до 25— 27% з подальшим відволоженням протягом 40 хв. Пропарювання під тиском 0,10 МПа протягом 3 хв. Висушування зерна після пропарювання

Періодичність контролю режимів водотеплової обробки визначають за графіком. Вона повинна и не менше двох разів на місяць. Періодичність контролю вологості зерна після сушіння повинні доводити кожних дві години. Під час контролю ефективності технологічного обладнання для луцення зерна слід керуватися даними, наведеними в таблиці 4.7.

Таблиця 4.7 - Характеристика ефективності роботи луцильного обладнання

Культура	Найменування луцильного обладнання	Показники ефективності
Пшениця	Оббивальні машини	Кількість подрібнених зерен не повинна перевищувати 15%. Зниження зольності після 1-ї системи повинно становити 0,04—0,06%; після 2-ї системи — 0,03-0,05%.

Ефективність роботи лушильно-полірувальних машин оцінюється на основі якості готової продукції (круп). Цей оперативний контроль якості проводиться кожні дві години.

4.3 Розрахунок технологічного обладнання

Згідно з вимогами, до складу круп'яного заводу обов'язково мають входити такі підсобні та допоміжні приміщення.

Таблиця 4.8 –Перелік допоміжних приміщень з мінімальними вимогами до площі

Категорія приміщень	Призначення та вимоги до площі (м ²)
Енергозабезпечення	Пункти розподільних електропристроїв
Оперативне управління	Диспетчерська з пультом управління
Адміністрація цеху	Кабінет начальника цеху (площа ≥ 12)
Наради	Кімната для змінних виробничих нарад (площа $\geq 1,2$ на особу в зміні, але ≥ 18)
Оперативний персонал	Кімната змінних майстрів (круп'янщиків) (площа ≥ 12)
Ремонтний персонал	Кімната для чергового електрика і слюсаря (площа ≥ 18)
Обслуговування	Цехова лабораторія (площа визначається розміщенням устаткування, але ≥ 15)
Складування	Комора для зберігання оперативного запасу деталей та устаткування (площа ≥ 15)

Спеціалізована майстерня	Майстерня для оновлення абразивних робочих поверхонь машин (площа ≥ 15)
Логістика	Кімната завідувача складом (площа ≥ 9)
Побутові умови	Кімната для обігріву персоналу в неопалювальному складі готової продукції (площа ≥ 12)

Розрахуємо технологічне обладнання для круп'яного заводу по переробці пшениці.

○ Виробнича потужність крупозаводу по переробці пшениці визначається пропускною спроможністю відповідного провідного обладнання [12].

Виробничу потужність визначають за видами культур, зерно яких переробляється, тис. т на рік, за формулою:

$$M = \frac{P_x H P_H}{1000} Y_{\text{баз}} \quad (4.1)$$

де M — розрахункова потужність, тис. т на рік; P_x — розмір робочих, органів машин, виражений у відповідних одиницях вимірювання; H — норми продуктивності обладнання, кг зерна на добу; P_H — номінальний фонд робочого часу, діб; $Y_{\text{баз}}$ — базисний вихід продукції, %.

Обчислимо потужність круп'яного заводу, який створюється:

$$M = \frac{100000 \cdot 300}{1000} 0,63 = 18900 \text{ тис. т. на рік}$$

○ Розрахунок продуктивності зерноочисного відділення.

Продуктивність зерноочисного відділення, т/добу, визначають з урахуванням 15 — 20%-го запасу продуктивності за формулою:

$$Q_{\text{з.в}} = K Q_{\text{п.в}} \quad (4.2)$$

де $Q_{з.в}$ і $Q_{п.в}$ — продуктивність відповідно зерноочисного і провідного відділень, т/добу; K — коефіцієнт запасу для круп'яних заводів, що переробляють рис, пшеницю, горох, кукурудзу, $K=1,15$.

$$Q_{з.в} = 1,15 \cdot 60 = 69 \text{ т/добу}$$

○ Розрахунок обладнання для підготовчого (зерноочисного) відділення.

Об'єм бункерів для неочищеного зерна, м³, розраховують за формулою:

$$V_{н.з} = \frac{Q \cdot \tau}{24 \cdot \gamma \cdot f} \quad (4.3)$$

де Q — продуктивність круп'яного заводу, т/добу; τ — кількість годин роботи луцильного відділення (зазвичай $\tau = 24$ — 30 годин); γ — об'ємна маса зерна, т/м³; f — коефіцієнт використання об'єму бункерів (залежить від висоти бункера, його перерізу, конфігурації, $f = 0,60$ — 0,85); при $h/b = 3f = 0,85$; при $h/b = 1,5$ $f = 0,75$; при $h/b = 1$ $f = 0,60$.

$$V_{н.з} = \frac{69 \cdot 24}{24 \cdot 0,79 \cdot 0,75} = \frac{1659}{14,12} = 117,5 \text{ м}^3$$

Об'єм одного бункера розраховують за формулою:

$$V_1 = a \cdot b \cdot h \quad (4.4)$$

де a і b — розміри бункера в плані, м; h — висота бункера, м.

$$V_1 = 4 \cdot 2 \cdot 3 = 24 \text{ м}^3$$

Кількість бункерів для неочищеного зерна визначають за формулою:

$$n = \frac{V_{н.з.}}{V_1} \quad (4.5)$$

де V_1 — об'єм одного бункера, м³; $V_{н.з.}$ — об'єм бункерів для неочищеного зерна, м³.

Величину округлюють до цілого числа.

$$n = \frac{117,5}{24} = 5 \text{ од.}$$

3.1. Розрахунок оперативних бункерів для зерна та продуктів його переробки. Необхідний об'єм оперативного бункера ($V_{о.б}$) розраховують за формулою розрахунку об'єму бункера для неочищеного зерна.

Розрахункова тривалість (τ) перебування зерна та продуктів його переробки така:

- для відволожування зерна — 35 — 40 хв. роботи луцильного відділення;
- під кожним пропарником періодичної дії — бункер не менше двох об'ємів пропарника;
- над паровою сушаркою — об'єм бункера на 1,0 — 1,5 год. роботи сушарки при шарі зерна в бункері не менше 1,0 м;
- над пропарником безперервної дії — не менше 10 хв. роботи;
- над луцильними машинами — не менше 15 хв. роботи;
- над шліфувальними машинами — не менше 10 хв. роботи [2].

Вибійні бункери проектують на одну-дві зміни: при двозмінній роботі — на 10 — 12 год., однозмінній — на 18 — 20 год.

Накопичувальні бункери перед пневмоустановкою повинні мати місткість для дрібного зерна, відходів та кормової дрібки на 4 — 8 год., для лузги та мучки не більше 1 — 2 год. роботи круп'яного заводу.

- Розрахунок обладнання луцильного відділення.

Цей розрахунок проводять відповідно до норм навантажень на робочі органи (за Правилами) [2, с.121]. Загальну довжину вальців вальцюдекових верстатів L , см, вальцювих верстатів та луцильних машин з гумовими валками розраховують за формулою:

$$L = \frac{1000 \cdot Q}{q} \quad (4.6)$$

де q — навантаження на 1 см загальної довжини вальців, т/добу.

$$L = \frac{1000 \cdot 69}{550} = 126 \text{ см}$$

Після підрахунку загальної довжини необхідно її розподілити по системах луцення з урахуванням виходу фракції у відсотках.

Для переробки пшениці беруть такий розподіл загальної довжини валків, %, за системами: 1-а шліфувальна – 20 – 25; 2-а шліфувальна – 20 – 22; 3-а

шліфувальна – 15 – 18; 1-а полірувальна – 12 – 15; 2-а полірувальна – 10 – 12;
3-а полірувальна – 10 – 12.

Для заводу з переробки пшениці загальну кількість луцильників безперервної дії ЗШН визначають за формулою:

$$A = \frac{Q}{q} \quad (4.7)$$

де Q - продуктивність круп'яного заводу, т/добу (в зерні, що подають на першу сепараторну систему); q — навантаження на одну машину, т/добу.

$$A = \frac{69}{12} = 6 \text{ од}$$

Висновки до розділу 4

1. В технологічній частині розділу було проведено розрахунок виходу круп пшеничних та підібране технологічне обладнання круп'яного заводу продуктивністю 60 т/добу.

2. Розроблено технологічну схему круп'яного заводу.

РОЗДІЛ 5

СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНА ЗНАЧУЩІСТЬ

5.1 Короткі відомості про принципи НАССР

Принципи НАССР (Hazard Analysis and Critical Control Points — Аналіз небезпечних факторів та критичні контрольні точки) — це ключовий міжнародний інструмент управління безпечністю харчових продуктів. Система ґрунтується на попередженні ризиків, а не на інспекції готової продукції.

Система НАССР включає сім основних логічних кроків (принципів), які необхідно послідовно застосовувати до кожного виробничого процесу. Вони наведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Основні принципи НАССР

Принцип	Опис	Призначення
Аналіз небезпечних факторів (АНФ)	Виявлення всіх потенційних біологічних, хімічних та фізичних небезпек, які можуть виникнути у процесі виробництва. Оцінка ймовірності їхнього виникнення та тяжкості наслідків.	Визначити ризики, які потребують контролю.
Визначення критичних контрольних точок (ККТ)	Визначення етапів у процесі виробництва, де контроль є суттєвим і необхідним для усунення або зниження небезпечного фактора до прийняттого рівня.	Сконцентрувати контроль на найбільш важливих етапах.

Продовження таблиці 5.1

Встановлення критичних меж	Встановлення чітких, вимірних максимальних та/або мінімальних значень, яких необхідно дотримуватися для утримання ККТ під контролем.	Визначити межу між безпечним та небезпечним продуктом.
Встановлення системи моніторингу	Розробка процедур регулярного спостереження та вимірювання в кожній ККТ для впевненості у дотриманні критичних меж.	Своєчасно виявити втрату контролю над ККТ.
Встановлення коригувальних дій	Заздалегідь визначені дії, які необхідно вжити у разі, якщо моніторинг показує, що критична межа була порушена.	Виправити ситуацію та запобігти реалізації небезпечної продукції.
Встановлення процедур верифікації (перевірки)	Процедури, що підтверджують ефективність роботи системи НАССР у цілому. Це можуть бути аудити, калібрування обладнання та тестування готової продукції.	Переконатися, що система працює, як заплановано.
Встановлення процедур ведення документації та обліку	Складання та ведення всіх документів і записів, пов'язаних із впровадженням та застосуванням цих принципів (наприклад, протоколи моніторингу ККТ, записи коригувальних дій, процедури АНФ).	Надати докази того, що система НАССР ефективно застосовується.

Головний принцип НАССР — це системний, проактивний підхід, що дозволяє контролювати безпечність харчових продуктів на всіх етапах їхнього

життєвого циклу, від сировини до готової продукції, запобігаючи проблемам до того, як вони виникнуть.

5.2 Впровадження НАССР у технологічний процес

Застосування НАССР до технологічного процесу переробки пшениці на крупи є обов'язковим для гарантування безпечності продукту. Етапи шліфування та полірування є критичними, оскільки вони можуть спричинити фізичне забруднення (зносом обладнання) та хімічне погіршення якості (перегрів).

Нижче наведено приклад застосування перших п'яти принципів НАССР до етапу шліфування та полірування.

Таблиця 5.2 – ККТ для етапу полірування та шліфування

Принцип НАССР	Застосування на етапі шліфування/полірування
Аналіз небезпечних факторів	Фізична небезпека: Потрапляння мікрочастинок абразивного матеріалу (дисків/циліндрів) в крупу внаслідок зносу обладнання. Хімічна небезпека: Перегрів продукту через надмірне тертя, що спричиняє окислення жирів (прогіркання) та зниження харчової цінності.
Визначення ККТ (Критична контрольна точка)	Контроль стану робочих органів (абразиву) та температури продукту. Це критична точка, оскільки вона є останнім етапом, де можна запобігти забрудненню абразивом та термічному пошкодженню перед сортуванням.

Встановлення критичних меж (КМ)	КМ 1 (Фізичний ризик): Відсутність видимих тріщин, відколів або критичного зносу абразивних робочих поверхонь. КМ 2 (Хімічний ризик): Максимальна температура крупи на виході з машини не повинна перевищувати 40–45 С° (для запобігання окисленню).
Встановлення моніторингу	Моніторинг 1 (Стан обладнання): Візуальний огляд робочих поверхонь луцильно-полірувальних машин проводиться щозмінно або щоденно технічним персоналом/майстром. Моніторинг 2 (Температура): Вимірювання температури продукту на виході з кожної машини проводиться кожні 2 години за допомогою вбудованого датчика або ручного пірометра (згідно з технологічним регламентом).

Встановлення коригувальних дій	Порушення КМ 1 (Знос): Негайна зупинка машини. Ізоляція та перевірка усієї продукції, що пройшла обробку з моменту останнього успішного контролю. Заміна зношеного або пошкодженого абразивного елемента. Порушення КМ 2 (Перегрів): Зниження подачі зерна (навантаження) або зупинка машини для охолодження. Перевірка аспіраційної системи для забезпечення належного відведення тепла.
--------------------------------	---

Застосування системи НАССР (аналіз небезпечних факторів та критичні контрольні точки) на круп'яному заводі дозволяє ідентифікувати та контролювати критичні етапи, що впливають на безпечність кінцевої продукції.

Наведений нижче приклад охоплює три ключові критичні контрольні точки (ККТ) у технологічному процесі переробки пшениці на крупи. У таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Застосування HACCP у виробництві круп

Етап / Процес	Небезпечний фактор (Принцип 1)	Критична контрольна точка (ККТ) (Принцип 2)	Критичні межі (КМ) (Принцип 3)	Моніторинг (Принцип 4)	Коригувальні дії (Принцип 5)
1. Знезараження / ВТО (Пропарювання)	Біологічна: Вживання термостійких мікроорганізмів та плісняви	Контроль режимів пропарювання та вологості після сушіння.	А)Температура: Продукт досягає мінімальної температури 95С° (або тиск/час згідно з ТП).Б) Вологість: Кінцева вологість зерна після сушіння 15,0%(для запобігання псуванню під час зберігання).	А)Безперервний запис температури та часу пропарювання. Б) Замір вологості кожні 2 години (згідно з регламентом).	Ізоляція та повторна обробка партії (ВТО). Корегування подачі пари або режиму сушарки.

Продовження таблиці 5.3

2. Шліфування / Полірування	Фізична: Потрапляння абразивних частинок в крупу через знос робочих органів. Хімічна: Перегрів продукту (окислення жирів).	Контроль зносу абразивних поверхонь та температури продукту.	А) Відсутність видимих пошкоджень, тріщин або критичного зносу. Б) Температура крупи на виході не перевищує 45 С°.	А) Щозмінний візуальний огляд абразивних робочих органів. Б) Кожні 2 години замір температури крупи пірометром.	Негайна зупинка машини. Ізоляція продукції. Заміна абразивних елементів. Зменшення навантаження для зниження температури.
3. Контроль перед фасуванням	Фізична: Наявність металевих домішок (від обладнання) у готовій крупі.	Магнітна сепарація (останній апарат перед бункерами готової продукції).	Відсутність феромагнітних домішок у крупі, що надходить у фасування. Ефективність роботи магніту 99%.	Щозмінний або щоденний контроль ефективності магнітів (наприклад, за допомогою тестових зразків).	Негайна зупинка лінії. Очищення магнітних апаратів. Повторний пропуск ізольованої партії через магнітну сепарацію

Висновки до розділу 5

Для круп'яного заводу система НАССР вимагає суворого контролю параметрів ВТО (для біологічної безпеки та вологості) та ефективного видалення фізичних забруднень на останніх етапах процесу (магнітна сепарація), а також контролю зносу обладнання (шліфування/полірування), щоб запобігти вторинному забрудненню

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Проведена робота була присвячена дослідженню впливу режимів лущення зерна пшениці на зольність продуктів переробки (ядра та мучки) з метою оптимізації технологічного процесу та підвищення якості продукції на круп'яному виробництві.
2. Було розглянуто та підтверджено критичне значення зольності як непрямого, але ключового показника ефективності відокремлення оболонки від ендосперму та контролю технологічних процесів переробки зерна.
3. Визначено об'єкт (технологія лущення) і предмет (вплив режимів лущення на зміну зольності) дослідження.
4. Описано всі методики підготовки зерна (очищення), проведення експериментів з лущення (з використанням лабораторного лущильника УЛЗ-1) та точного визначення зольності (відповідно до ISO 2171:2023) і вологості (відповідно до ISO 712:2009).
5. Встановлено принципово різні залежності зольності продуктів лущення від тривалості/індексу лущення:
 - Зольність лущеного ядра лінійно зменшується.
 - Зольність мучки змінюється за нелінійною (криволінійною) залежністю з наявністю точки екстремуму.
6. Доведено, що характер зміни зольності лущеного ядра суттєво не залежить від зернистості абразивних кругів (40, 60, 80 од.).
7. Отримано математичні залежності (лінійні та нелінійні рівняння), що описують зміни зольності. Проведений статистичний аналіз підтвердив сильні кореляційні зв'язки між досліджуваними змінними та достовірність моделей.
8. Визначено критичний технологічний поріг: Показано, що збільшувати індекс лущення понад 10 % є недоцільно, оскільки після цієї точки відбувається зрізання низькозольного ендосперму у високозольну мучку, що призводить до втрати цінного продукту.

9. Проведено розрахунок виходу круп та підібрано необхідне технологічне обладнання для круп'яного заводу продуктивністю 60 т/добу, а також розроблено його технологічну схему.

10. Підкреслено важливість застосування системи НАССР на круп'яному заводі, зокрема суворого контролю параметрів водотеплової обробки (ВТО) та контролю зносу обладнання для запобігання забрудненню готової продукції.

11. Робота надала науково обґрунтовані та практично значущі рекомендації щодо оптимальних режимів луцення пшениці, які дозволяють максимально ефективно відокремити оболонки та запобігти втраті високоякісного борошністого ядра.

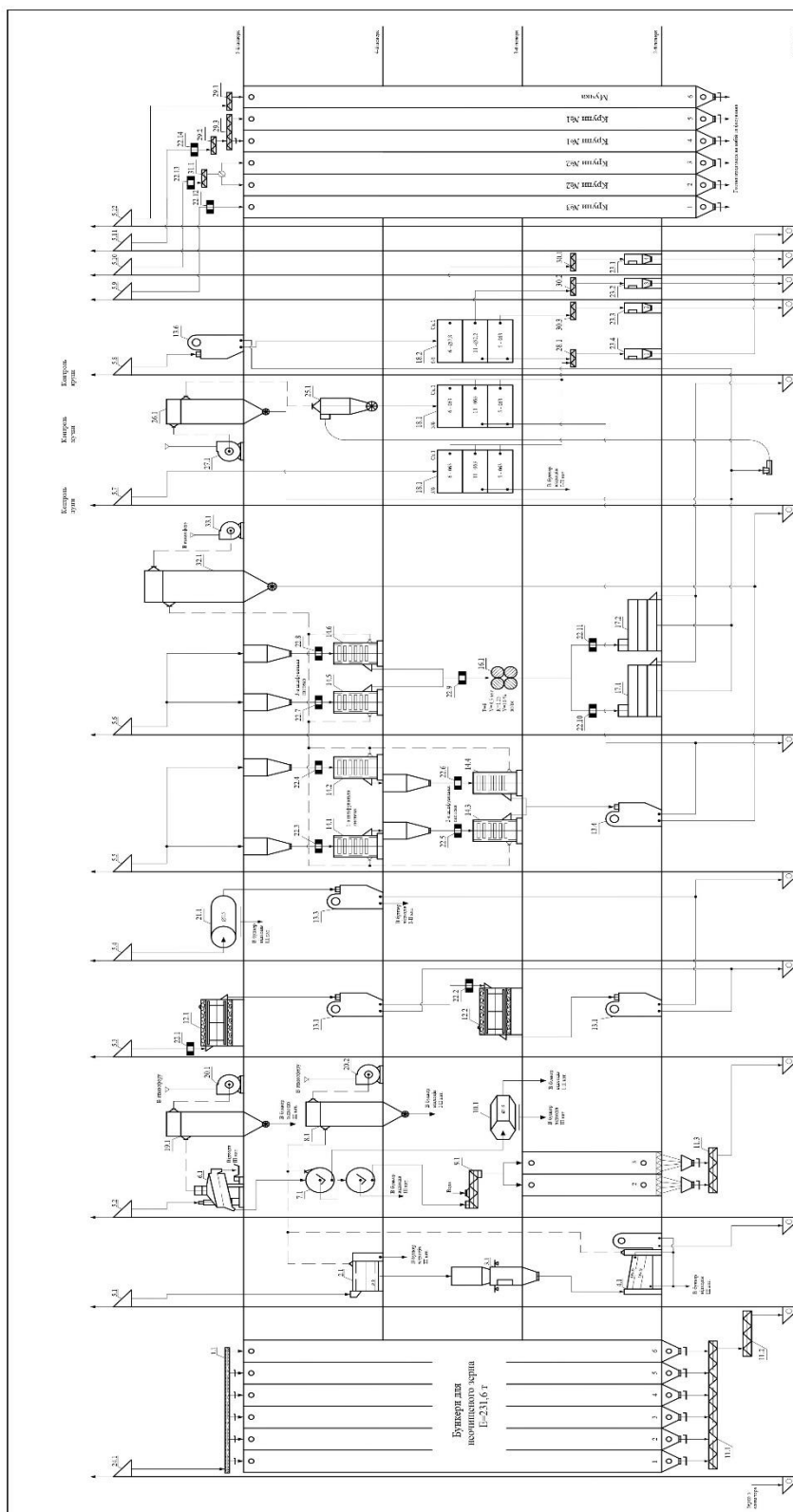
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Верещинський О. П. Наукові основи і практика підвищення ефективності сортових хлібопекарських помелів пшениці : дис. ... докт. техн. наук. : 05.18.02 / Верещинський Олександр Павлович. – Київ : 2013. – 383 с.
2. Інструкція по визначенню виробничих потужностей діючих підприємств борошномельно-круп'яної, комбікормової та кукурудзообробної промисловості. // ДАК "Хліб України. – С. 23.
3. Ковтун Л. Я. Ефективне використання зерна жита при його переробці в муку хлібопекарську : дис. ... канд. техн. наук : 05.18.01 / Ковтун Леся Яківна. – Одеса : 2009. - 156 с.
4. Мальцев П. М. Основы научных исследований / П. М. Мальцев, Н. А. Емельянова. – К. : Вища школа, 1982. – 192 с.
5. Fares, C., Troccoli, A. & Di Fonzo, N. (1996). Use of friction debranning to evaluate ash distribution in Italian durum wheat Cultivars. *Cereal Chemistry*. 73(2). pp. 232-234.
6. Gujral, H. S., Singh, N. (2001). Relationship between debranning, ash distribution pattern and conductivity in maize. *International Journal of Food Properties*, 4(2), pp. 261-269.
7. Gys, W., Gebruers, K., Sorensen, J. F., Courtin, C. M. & Delcour, J. A. (2004). Debranning of wheat prior to milling reduces xylanase but not xylanase inhibitor activities in wholemeal and flour. *Journal of Cereal Science*, 39, pp. 363-369.
8. Hareland, G. A. (2003). Effects of pearling on falling number and α -amylase activity of preharvest sprouted spring wheat. *Cereal Chemistry*. 80(2). pp. 232-237.
9. ISO 2171:2023(E). Cereals, pulses and by-products. Determination of ash yield by incineration
10. ISO 712:2009(E). «Cereals and cereal products. Determination of moisture content».

11. Kharchenko, Y., Buculei, A., Chorny, V., Sharan, A. (2022). Influence of technical and technological parameters on the barley dehulling process. *Ukrainian Food Journal*, 2022, 11(4). pp. 542-557.
12. Lochte-Watson, K. R., Weller, C. L. & Jackson, D. S, (2000). Fractionation of grain sorghum using abrasive decortication. *Journal Agric. Engng Res.* 77(2), pp. 203-208.
13. Singh, N., Singh, H. & Bakshi, M. S. (1998). Determining the distribution of ash in wheat using debranning and conductivity. *Food Chemistry*, 62(2). – pp.169-172.
14. Tibola, C. S., Guarienti, E. M., Dias, A. R. G., Nicolau, M., Devosm R. J. B. & Teixeira, D. D. (2019.) Effect of debranning process on deoxynivalenol content in whole-wheat flours. *Cereal Chemistry*, 96. pp.717-724.

ДОДАТОК

ДОДАТОК А

[illegible]

№п/п	Наименование	Единица измерения	Количество
1	Итого	шт	1
1.1	Просторный светильник (1х1х300)	шт	1
2.1	Осветительный прибор	шт	1
3.1	Иллюминация	шт	1
4.1	Светильник потолочный (1х1х300) с регулируемой яркостью	шт	1
5.1.1.2	Светильник	шт	12
6.1	Осветительный прибор (1х1х300)	шт	1
7.1.1.1	Светильник	шт	1
8.1	Флуоресцентный ПРЛ	шт	1
9.1	Аварийный светильник с аккумулятором (1х1х300) - 1	шт	1
10.1	Блок питания	шт	1
11.1.1.1	Светильник потолочный (1х1х300)	шт	3
12.1.1.1	Осветительный прибор (1х1х300)	шт	2
13.1.1.1	Светильник потолочный (1х1х300)	шт	5
14.1.1.1	Осветительный прибор (1х1х300)	шт	6
15.1.1.1	Светильник потолочный (1х1х300)	шт	1
16.1	Блок питания	шт	1
17.1.1.2	Осветительный прибор (1х1х300)	шт	2
18.1.1.2	Осветительный прибор (1х1х300)	шт	2
19.1.1.2	Осветительный прибор (1х1х300)	шт	2
20.1.1.2	Осветительный прибор (1х1х300)	шт	2
21.1.1.2	Осветительный прибор (1х1х300)	шт	2
22.1.1.2	Осветительный прибор (1х1х300)	шт	2
23.1.1.2	Осветительный прибор (1х1х300)	шт	2
24.1.1.2	Осветительный прибор (1х1х300)	шт	2
25.1.1.2	Осветительный прибор (1х1х300)	шт	2
26.1.1.2	Осветительный прибор (1х1х300)	шт	2
27.1.1.2	Осветительный прибор (1х1х300)	шт	2
28.1.1.2	Осветительный прибор (1х1х300)	шт	2
29.1.1.2	Осветительный прибор (1х1х300)	шт	2
30.1.1.2	Осветительный прибор (1х1х300)	шт	2
31.1.1.2	Осветительный прибор (1х1х300)	шт	2
32.1.1.2	Осветительный прибор (1х1х300)	шт	2
33.1.1.2	Осветительный прибор (1х1х300)	шт	2
34.1.1.2	Осветительный прибор (1х1х300)	шт	2
35.1.1.2	Осветительный прибор (1х1х300)	шт	2
36.1.1.2	Осветительный прибор (1х1х300)	шт	2
37.1.1.2	Осветительный прибор (1х1х300)	шт	2
38.1.1.2	Осветительный прибор (1х1х300)	шт	2
39.1.1.2	Осветительный прибор (1х1х300)	шт	2
40.1.1.2	Осветительный прибор (1х1х300)	шт	2
41.1.1.2	Осветительный прибор (1х1х300)	шт	2
42.1.1.2	Осветительный прибор (1х1х300)	шт	2
43.1.1.2	Осветительный прибор (1х1х300)	шт	2
44.1.1.2	Осветительный прибор (1х1х300)	шт	2
45.1.1.2	Осветительный прибор (1х1х300)	шт	2
46.1.1.2	Осветительный прибор (1х1х300)	шт	2
47.1.1.2	Осветительный прибор (1х1х300)	шт	2
48.1.1.2	Осветительный прибор (1х1х300)	шт	2
49.1.1.2	Осветительный прибор (1х1х300)	шт	2
50.1.1.2	Осветительный прибор (1х1х300)	шт	2
51.1.1.2	Осветительный прибор (1х1х300)	шт	2
52.1.1.2	Осветительный прибор (1х1х300)	шт	2
53.1.1.2	Осветительный прибор (1х1х300)	шт	2
54.1.1.2	Осветительный прибор (1х1х300)	шт	2
55.1.1.2	Осветительный прибор (1х1х300)	шт	2
56.1.1.2	Осветительный прибор (1х1х300)	шт	2
57.1.1.2	Осветительный прибор (1х1х300)	шт	2
58.1.1.2	Осветительный прибор (1х1х300)	шт	2
59.1.1.2	Осветительный прибор (1х1х300)	шт	2
60.1.1.2	Осветительный прибор (1х1х300)	шт	2
61.1.1.2	Осветительный прибор (1х1х300)	шт	2
62.1.1.2	Осветительный прибор (1х1х300)	шт	2
63.1.1.2	Осветительный прибор (1х1х300)	шт	2
64.1.1.2	Осветительный прибор (1х1х300)	шт	2
65.1.1.2	Осветительный прибор (1х1х300)	шт	2
66.1.1.2	Осветительный прибор (1х1х300)	шт	2
67.1.1.2	Осветительный прибор (1х1х300)	шт	2
68.1.1.2	Осветительный прибор (1х1х300)	шт	2
69.1.1.2	Осветительный прибор (1х1х300)	шт	2
70.1.1.2	Осветительный прибор (1х1х300)	шт	2
71.1.1.2	Осветительный прибор (1х1х300)	шт	2
72.1.1.2	Осветительный прибор (1х1х300)	шт	2
73.1.1.2	Осветительный прибор (1х1х300)	шт	2
74.1.1.2	Осветительный прибор (1х1х300)	шт	2
75.1.1.2	Осветительный прибор (1х1х300)	шт	2
76.1.1.2	Осветительный прибор (1х1х300)	шт	2
77.1.1.2	Осветительный прибор (1х1х300)	шт	2
78.1.1.2	Осветительный прибор (1х1х300)	шт	2
79.1.1.2	Осветительный прибор (1х1х300)	шт	2
80.1.1.2	Осветительный прибор (1х1х300)	шт	2
81.1.1.2	Осветительный прибор (1х1х300)	шт	2
82.1.1.2	Осветительный прибор (1х1х300)	шт	2
83.1.1.2	Осветительный прибор (1х1х300)	шт	2
84.1.1.2	Осветительный прибор (1х1х300)	шт	2
85.1.1.2	Осветительный прибор (1х1х300)	шт	2
86.1.1.2	Осветительный прибор (1х1х300)	шт	2
87.1.1.2	Осветительный прибор (1х1х300)	шт	2
88.1.1.2	Осветительный прибор (1х1х300)	шт	2
89.1.1.2	Осветительный прибор (1х1х300)	шт	2
90.1.1.2	Осветительный прибор (1х1х300)	шт	2
91.1.1.2	Осветительный прибор (1х1х300)	шт	2
92.1.1.2	Осветительный прибор (1х1х300)	шт	2
93.1.1.2	Осветительный прибор (1х1х300)	шт	2
94.1.1.2	Осветительный прибор (1х1х300)	шт	2
95.1.1.2	Осветительный прибор (1х1х300)	шт	2
96.1.1.2	Осветительный прибор (1х1х300)	шт	2
97.1.1.2	Осветительный прибор (1х1х300)	шт	2
98.1.1.2	Осветительный прибор (1х1х300)	шт	2
99.1.1.2	Осветительный прибор (1х1х300)	шт	2
100.1.1.2	Осветительный прибор (1х1х300)	шт	2

[illegible]

91st International scientific conference of young scientist and students
 "Youth scientific achievements to the 21st century nutrition problem solution",
 April, 7–11, 2025. Book of abstract. Part 1. NUFT, Kyiv.

15. Програмні продукти для ефективного управління логістичними процесами на зернопереробних підприємствах

Дмитро Сушков, Олена Супрун-Крестова
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Логістика зерна в Україні є критично важливою галуззю, яка забезпечує експортний потенціал країни та продовольчу безпеку. Логістичні системи на зернопереробних підприємствах відіграють вирішальну роль у забезпеченні ефективності та прибутковості виробництва. Вони охоплюють широкий спектр процесів, від закупівлі сировини до доставки готової продукції споживачам.

Матеріали і методи. Аналіз та систематизація інформації з офіційних сайтів зернотрейдерів, а також на відкритих онлайн сервісах.

Результати. Логістика зерна – це складний процес, що вимагає ефективного управління на кожному етапі. Для цього існує безліч програмних продуктів, які допомагають оптимізувати роботу зернопереробних підприємств.

Системи управління елеваторами (Elevator Management Systems, EMS) - дозволяють автоматизувати процеси прийому, зберігання та відвантаження зерна на елеваторах, а саме: провести облік зерна, контроль його якості, ефективно управляти складськими операціями та проводити формування звітності (GES: Зерно КОПІ, GES: Управління елеватором, борошномельним, круп'яним, комбікормовим та олійним виробництвом та ін.). Системи управління транспортом (Transportation Management Systems, TMS) - допомагають оптимізувати транспортні перевезення зерна, а саме: планування маршрутів, вибір перевізників, відстеження вантажів та управління документацією (Oracle Transportation Management, SAP Transportation Management, Descartes Transportation Management, Verizon Connect, системи позиціонування (GPS) та ін.). Системи управління ланцюгами поставок (Supply Chain Management Systems, SCM) - дозволяють управляти всім ланцюгом поставок зерна, від поля до кінцевого споживача, а саме: прогнозування попиту, планування виробництва, управління запасами, координація між учасниками ланцюга (SAP SCM, Oracle Supply Chain Management, Kinaxis RapidResponse). Системи управління складом (WMS) - дозволяють автоматизувати та оптимізувати складські операції, такі як прийом, розміщення, зберігання, комплектація та відвантаження (Manhattan Associates, Blue Yonder, Oracle WMS).

Більшість вказаних програмних продуктів інтегруються з іншими системами, такими як системи бухгалтерського обліку та системи управління ресурсами підприємства (ERP). Також на ринку існують мобільні додатки, які дозволяють оперативно отримувати інформацію про стан зерна, транспортні перевезення та інші логістичні процеси.

Висновок. Проведений аналіз показав, що для ефективного управління логістичним процесом на підприємствах зернопереробної галузі на ринку представлено багато програмних продуктів, які дозволяють оперативно отримувати інформацію, приймати рішення та контролювати логістичні процеси, що є особливо важливим в умовах динамічного зернового ринку. Вибір конкретного програмного продукту залежить від потреб та розміру підприємства, обсягів виробництва, асортименту продукції та інших факторів.

6. Вплив індекса лушення на зольність продуктів ядра та мучки

Дмитро Сушков, Андрій Шаран, Євген Харченко
 Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Зольність продуктів переробки зерна є якісною оцінкою ведення технологічних процесів, в тому числі на процеси лушення в машинах із абразивними робочими органами. Аналіз літературних джерел вказує на те, що для деяких зернових культур зольність змінюється за лінійними залежностями при зміні тривалості лушення. Однак, ці дослідження обмежуються не великою кількістю досліджень і не враховуються багато різноманітних факторів, які впливають на процес лушення. Метою даних досліджень було встановлення впливу індексу лушення та зернистості на зольність ядра та мучки зерна пшениці після проведення лушення.

Матеріали і методи. Дослідження проводились за методикою наведеною в роботі [1], використовуючи лабораторний лушильник УЛЗ-1. Показники якості зерна пшениці були наступними: натура зерна: $746,8 \pm 1,59$ г/л; вологість зерна $13,7 \pm 0,06$ %; скловидність пшениці $23,2 \pm 2,6$ %; маса 1000 зерен $40 \pm 0,2$ г. Швидкість обертання абразивних кругів становила 1500 об/хв; початкова маса зерна пшениці становила 100 г.

Озолення продуктів лушення здійснювали за стандартними методиками без прискорювача у муфельній печі при температурі $600 \dots 900$ °C і тривалості озолення 4 год.

Результати. Дослідженнями встановлено, що зольність ядра зерна пшениці нелінійно змінюється зі зміною індексу лушення. При цьому спостерігаються точки екстремуму, що дозволяє визначити максимальну зольність ядра, після якою зольність ядра знижується. Зольність мучки лінійно знижується зі збільшенням індексу лушення. Отримані залежності описуються рівняннями, які наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Залежності зольності від індексу лушення зерна пшениці

Зернистість абразивних кругів, од	Продукти переробки	Залежність	Коефіцієнт кореляції
40	Лушене ядро	$z = -0,0113I_{\text{л}}^2 + 0,2238I_{\text{л}} + 2,789$	0,86
	Мучка	$z = -0,0272I_{\text{л}} + 1,632$	0,98
60	Лушене ядро	$z = -0,0076I_{\text{л}}^2 + 0,0929I_{\text{л}} + 4,181$	0,94
	Мучка	$z = -0,0395I_{\text{л}} + 1,697$	0,97
80	Лушене ядро	$z = -0,0451I_{\text{л}}^2 + 0,694I_{\text{л}} + 2,331$	0,84
	Мучка	$z = -0,0532I_{\text{л}} + 1,654$	0,96

Дослідження коефіцієнтів кореляції показали, що між досліджуваними ознаками існує тісний кореляційний зв'язок.

Висновки. Аналіз отриманих залежностей показав, що при індексі лушення 6,0 % найвища зольність ядра була при використанні абразивних кругів із зернистістю 80 од. а зі зменшенням зернистості до 40 од, зольність знижувалась за рахунок більшої кількості знятих оболонок.

Література

1. Kharchenko, Y., Buculei, A., Chorneyi, V., Sharan, A. (2022). Influence of technical and technological parameters on the barley dehulling process. *Ukrainian Food Journal*, 11(4). – pp. 542 – 557.