

**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)

\_\_\_\_\_ Кочубей-Литвиненко О.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021р.

«До захисту допущено»

В. о. завідувача кафедри

\_\_\_\_\_ Янюк Т.І.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
**НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

зі спеціальності 181 «Харчові технології»

(код та назва спеціальності)

освітньо-професійної програми Технології зберігання і переробки зерна

на тему: «Дослідження впливу технологічних властивостей зерна пшениці на ефективність лущення»

Виконав: здобувач 2 курсу, групи ТЗ-2-6М

Ткаченко А.М

(прізвище та ініціали)

Керівник

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Консультанти

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Рецензент

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

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

Здобувач \_\_\_\_\_ (підпис)

Київ - 2021р.

# 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)

Освітньо-професійна програма Технології зберігання і переробки зерна

(назва)

## ЗАТВЕРДЖУЮ

**В. о. завідувача кафедри**

технології зберігання і

переробки зерна

Янюк Т.І.

“ ” 2021 року

## ЗАВДАННЯ

### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Ткаченко Аліна Миколаївна

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Дослідження впливу технологічних досліджень зерна пшениці на ефективність лущення»

керівник роботи к.т.н., доцент Супрун-Крестова Олена Юріївна

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від “ 26 ” 10 2020 року № 872 КС

2. Строк подання здобувачем роботи 17.02.2021

3. Вихідні дані до роботи зерно пшениці

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Анотація, Зміст, Вступ, Аналітичний огляд

літератури, Об'єкти і методи дослідження, Експериментальна частина,

Математичне моделювання Технологічна частина, Соціально-економічна

ефективність роботи, Загальні висновки, Список використаної літератури,

Додатки.

5. Перелік графічного матеріалу

схема технологічного процесу, план на відмітці 0,000, +3,000, план на

відмітці 6,600, +10,200, розріз 1-1 та 2-2, розріз 3-3, 4-4 та 5-5 \_\_\_\_\_

6. Консультанти розділів роботи.



## АНОТАЦІЯ

### **Ткаченко А.М. Дослідження впливу технологічних властивостей зерна пшениці на ефективність лушення**

Магістерська робота здобувача вищої освіти зі спеціальності 181 «Харчові технології» освітньої програми "Технології зберігання і переробки зерна", Національний університет харчових технологій Міністерства освіти і науки України, Київ, 2021.

Магістерська робота присвячена дослідженню впливу технологічних властивостей зерна пшениці на процес його лушення.

У роботі представлено дослідження показників якості вихідної сировини; дослідження процесу відлежування зерна, впливу крупності зерна та зміни температури зернової маси на ефективність процесу лушення зерна пшениці, розроблено технологічну схему виробництва. Представлено літературний огляд за тематикою досліджень. Підібрано технологічне та транспортне обладнання необхідної продуктивності та визначено його достатню кількість відповідно принципової технологічної схеми виробництва.

Робота виконана відповідно вимог НТД. Розраховано основні техніко-економічні показники роботи підприємства.

**Ключові слова:** зерно пшениці, індекс лушення, ефективність процесу.

## ANNOTATION

Tkachenko AM Investigation of the influence of technological properties of wheat grain on the efficiency of husking.

Master's thesis of the applicant of higher education in the field of study 181 «Food Technology» of the educational program «Storage and Grain Processing Technologies», National University of Food Technologies of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2021.

The master's thesis is devoted to the study of the influence of technological properties of wheat grain on the process of its husking.

The study of quality indicators of raw materials is presented in the work; research of grain aging process, influence of grain size and change of grain mass temperature on efficiency of wheat grain peeling process, technological scheme of production is developed. A literature review on research topics is presented. The technological and transport equipment of the necessary productivity is selected and its sufficient quantity according to the basic technological scheme of production is defined.

The work was performed in accordance with the requirements of the regulatory and technical documentation. The main technical and economic indicators of the enterprise are calculated.

**Key words:** wheat grain, husking index, process efficiency.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1.....	11
АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ.....	11
1.1 Класифікація пшениці.....	11
1.2 Класифікація якості зерна пшениці.....	14
1.3 Лущення пшениці у технології сортового помелу .....	19
1.4 Вплив лущення зерна пшениці на процес крупоутворення.....	28
Висновки до розділу 1.....	36
РОЗДІЛ 2.....	37
ОБ'ЄКТИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ .....	37
2.1. Об'єкти досліджень.....	37
2.2. Методи досліджень .....	37
2.2.1 Методи визначення фізико-технологічних показників якості.....	37
2.2.2 Методи визначення технологічних показників процесу.....	40
2.3 Методи математичного оброблення експериментальних даних .....	41
Висновки до розділу 2.....	42
РОЗДІЛ 3.....	43
ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА.....	43
3.1 Визначення органолептичних показників сировини.....	43
3.2 Визначення впливу тривалості відлежування пшениці на індекс лущення .....	43
3.3 Визначення впливу крупності зерна пшениці на індекс лущення.....	44
3.4 Визначення зміни температури зерна пшениці в процесі лущення .....	48
3.5 Визначення впливу температури зерна пшениці на ефективність його лущення .....	49
Висновки до розділу 3.....	50
РОЗДІЛ 4.....	51
МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ .....	51
4.1 Дослідження трьохфакторного експерименту.....	52
Висновки до розділу 4.....	56
РОЗДІЛ 5.....	57

ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА .....	57
5.1 Розрахунок виходу продукції .....	57
5.2 Наукове обґрунтування та опис технологічного процесу переробки зерна в крупи .....	59
5.2.1 Наукове обґрунтування технологічного процесу виробництва круп подрібнених з м'якої пшениці .....	59
5.2.2 Опис технологічної схеми виробництва крупів.....	60
5.3 Розрахунок обладнання.....	63
5.3.1 Розрахунок місткості бункерів для неочищеного зерна.....	63
5.3.2 Розрахунок технологічного обладнання зерноочисного відділення .....	65
5.3.3 Розрахунок кількості технологічного обладнання луцильного відділення .....	67
Висновки до розділу 5.....	71
РОЗДІЛ 6.....	72
СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ.....	72
6.1 Розрахунок виробничої програми підприємства .....	72
Висновки до розділу 6.....	74
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	75
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	78
ДОДАТКИ .....	80
Додаток А Схема технологічного процесу .....	81
Додаток Б План на відмітці 0,000, +3,000.....	82
Додаток В План на відмітці 6,600, +10,200 .....	83
Додаток Г Розріз 1-1 та 2-2 .....	84
Додаток Д Розріз 3-3, 4-4 та 5-5 .....	85
Додаток Е.....	85

## ВСТУП

**Актуальність теми.** На сьогоднішній день широко досліджується можливість удосконалення технології сортового помелу пшениці різними методами. Одним з таких напрямків є використання луцання зерна перед помелом. Так, у даній роботі досліджується вплив луцання пшениці на процес крупоутворення.

У часи продовольчої та енергоресурсної кризи у світі, та в Україні, актуальними залишаються питання підвищення якості продукції та необхідність розробки і використання енерго- та ресурсоощадних технологій. В круп'яній промисловості спостерігаються аналогічні тенденції з використанням сучасних розробок провідних корпорацій галузі. Це стосується як технологій збирання, зберігання, очистки, підготовки сировини до переробки, так і модернізації технологічного обладнання і технології переробки зерна зокрема. Галузь переробки зерна постійно знаходиться у динамічному розвитку в напрямку підвищення ефективності технології і підвищенню рівня продовольчого використання зерна. Дослідженням впливу процесу луцання зерна на показник крупоутворення займалось багато вітчизняних вчених. Так, ще в 30-х роках цю тему розглядав В.Я. Гіршсон, використовуючи оббивні машини з абразивною поверхнею проводив досліди з луцанням попередньо зволоженої пшениці, які дали позитивні результати. Однак через надмірно високу вологість оболонок (до (35-45) %) і необхідність їх висушування, цей спосіб не одержав поширення [3].

В 40-х роках у Московському технологічному інституті харчової промисловості під керівництвом Л.Н. Любарського були проведені роботи з використанням фізико-хімічних методів відділення оболонок [12]. Але використання хімічних методів визнали неприйнятними через зниження харчової цінності готової продукції.

Разом з тим Я.Н. Купріц сформулював загальноприйняте твердження: найміцнішою частиною зернівки є оболонки, для руйнування яких потрібно

найбільших зусиль. Тому їх видалення перед здрібненням Одеська національна академія харчових технологій Наукові праці, випуск 40, том 1 21 має великий вплив на структурно-механічні властивості зернівки і зернової маси в цілому, що суттєво змінює технологічний процес розмелу зерна [10].

У 50-60-х роках А.В. Кисельова та І.Е. Борисенко [7] додатково зволожене зерно, після оббивної машини, направляли на луцильну машину типу ЗШН. Встановили, що зняття оболонки у кількості (3-3,5) % призводило до зменшення зольності зерна на (0,02-0,06) %, але проведені помели показали підвищення зольності муки усіх сортів на (0,01-0,03) %, у порівнянні з мукою з нелущеного зерна.

Фридрих Р., Обучовски В., Стрибе К. досліджували зміни санітарно-гігієнічних показників сировини у процесі її підготовки до переробки [17, 14] Встановили, що використання сучасних технологій дозволяє суттєво знизити забруднення зерна мікроорганізмами, мікотоксинами, важкими металами і брудом. Одним із найважливіших етапів, який впливає на всі дані показники, є очистка поверхні зерна. Лушення зерна на етапі його підготовки забезпечує інтенсивну очистку

**Мета і завдання дослідження.** Метою магістерської роботи є дослідження впливу технологічних властивостей зерна пшениці на ефективність процесу лушення.

Для досягнення поставленої мети досліджень були сформовані наступні завдання:

- проаналізувати основні технологічні властивості зерна пшениці;
- дослідити вплив тривалості відлежування зерна пшениці на ефективність процесу лушення;
- дослідити вплив крупності зерна пшениці на індекс лушення;
- дослідити вплив зміни температури зерна пшениці на тривалість та ефективність процесу лушення;

- на основі результатів проведених досліджень удосконалити технологічну схему;
- розрахувати економічну ефективність впровадження запропонованої технологічної схеми виробництва.

**Об'єкт дослідження** – технологія лушення зерна.

**Предмет дослідження** – зерно пшениці.

**Методи досліджень.** Загальноприйняті і спеціальні технологічні, фізичні та органолептичні методи дослідження якості зерна виконувались в лабораторії на кафедрі технології зберігання і переробки зерна Національного університету харчових технологій.

**Практична цінність.** Практична цінність роботи полягає в отриманні експериментальних результатів впливу технологічних властивостей зерна пшениці на ефективність лушення зерна пшениці.

**Апробація роботи.** Результати досліджень доповідались на 86-й міжнародній науковій конференції молодих учених, аспірантів і студентів «Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті» (НУХТ, 2020 р.).

**Особистий внесок здобувача.** Автор особисто брала участь у розробці методики дослідження, у виконанні аналітичної й експериментальної роботи, у оформленні даних досліджень та формулюванні висновків.

Планування проведення досліджень, аналіз та узагальнення результатів проведено спільно з науковим керівником к.т.н., доц. Супрун-Крестовою О.Ю та науковим консультантом к.т.н., доц. Харченком Є.І.

**Структура і об'єм роботи.** Робота складається із вступу, 6 розділів, загальних висновків і додатків. Робота викладена на 80 сторінках машинописного тексту, має 11 рисунків, 23 таблиць. Список літератури включає 17 бібліографічних джерел. Додатки включають креслення: схема технологічного процесу, план на відмітці 0,000, +3,000, план на відмітці 6,600, +10,200, розріз 1-1 та 2-2, розріз 3-3, 4-4 та 5-5

# РОЗДІЛ 1

## АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

### 1.1 Класифікація пшениці

#### Типи пшениці

На сьогодні найбільш широке розповсюдження в зонах вирощування отримали наступні два види пшениці:

- **Пшениця м'яка, або звичайна** (*Triticum aestivum* L.) – це найбільш широко розповсюджений вид пшениці, також відомий як хлібний. Як правило, цей вид відрізняється високим вмістом білку та клейковини. Ендосперм зерна твердий або м'який.

- **Пшениця тверда, або англійська** (*Triticum durum* or *Triticum turgidum* subsp. *durum*), відома особливою твердістю зерна, високим рівнем вмісту білку, насиченим жовтим кольором, приємним запахом, а також прекрасними хлібопекарними властивостями. Це робить її придатною для виготовлення манних круп та макаронних виробів і менш придатною для борошна. Тверда пшениця містить 27% сирої клейковини, що приблизно на 3% вище, ніж у звичайної пшениці (*T. aestivum* L.). [8]

**Класифікація пшениці за твердістю зерна.** Нижче представлена класифікація пшениці за структурою ендосперму, який може бути твердим або м'яким. [8]

**Тверда пшениця.** Тверда пшениця відрізняється підвищеним вмістом білку. Добре підходить для отримання хлібних сортів борошна. Крохмальні зерна тверді і не кришаться в процесі помелу.

**М'яка пшениця.** М'яка пшениця має м'який ендосперм, крохмальні зерна добре кришаться при перемелюванні. Використовується для виготовлення багетів, бісквітів та печива.

**Пшениця дурум.** Пшениця з твердим зерном темного кольору, багата клейковиною. Використовується для випічки хліба та виготовлення

макаронних виробів. Вирощується переважно на півдні Росії, в Північній Африці і на півночі центральної частини Північної Америки.

**Класифікація пшениці за якістю зерна.** Залежно від якості зерна можна виділити наступні групи пшениці:

**I група.** Це тверді сорти пшениці з чудовими характеристиками помелу і пекарськими характеристиками. Вартість борошна із зерна I групи буде вище середньої, завдяки її відповідності вимогам до якості (13%-ий вміст білка, число падіння по Хагбергу (HFN) - 250 і питома вага 76 кг / гл).

**II група.** Ця група містить у своєму складі різні сорти пшениці, не всі з яких мають потенціал для використання в хлібопекарській справі. Деякі сорти недостатньо тверді в порівнянні з I групою; інші – занадто м'які, тоді як треті цілком придатні для виробництва професійного борошна.

**III група.** Ця група містить м'які сорти пшениці, ідеальні для виробництва бісквітного, кондитерського та інших сортів борошна, де основними вимогами є м'які характеристики помелу, низький рівень вмісту білка, хороший вихід борошна і розтяжна, але не еластична клейковина.

**IV група.** Ці сорти пшениці вирощують, в основному, в якості фуражних. [8]

В Україні прийнятий поділ пшениці на тверду (*Triticum durum*) та м'яку (*Triticum aestivum* L.).

*Таблиця 1.1* – Характеристика та норма для твердої пшениці за класами [8]

<i>Показники</i>	<i>Характеристика та норма для твердої пшениці за класами</i>				
	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
Зерна м'якої пшениці, %	4	4	8	10	Не обмежено
Натура, г/л	750	750	730	710	Не обмежено
Склоподібність, %	70	60	50	40	Не обмежено
Вологість, %	14,5	14,5	14,5	14,5	14,5

Зернова домішка, %	5,0	5,0	8,0	10,0	15,0
Сміттєва домішка, %	2,0	2,0	2,0	5,0	5,0
Сажкове зерно, %	5,0	5,0	5,0	5,0	10,0
Масова частка білка, % (в перерахунок на сухе зерно)	14,0	13,0	12,0	11,0	Не обмежено
Число падіння, с	220	200	150	100	Не обмежено

Таблиця 1.2 – Характеристика та норма для м'якої пшениці за класами [8]

Показники	Характеристика та норма для м'якої пшениці за класами					
	А			Б		б
	1	2	3	4	5	
Натура, г/л	760	740	730	710	690	Не обмежено
Склоподібність, %	Не обмежено					
Вологість, %	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0
Зернова домішка, %	5,0	8,0	8,0	10,0	12,0	15,0
Сміттєва домішка, %	1,0	2,0	2,0	2,0	2,0	5,0
Сажкове зерно, %	5,0	5,0	8,0	5,0	8,0	10,0
Масова частка білка, % (в перерахунок на сухе зерно)	14,0	12,5	11,0	12,5	10,5	Не обмежено
Масова частка сирої клейковини, %	28,0	23,0	18,0	Не обмежено		
Група клейковини	I-II	I-II	I-II			
Одиниць приладу ВДК	45-100	45-100	20-100			
Число падіння, с	220	180	150	150	130	Не обмежено

## **1.2 Класифікація якості зерна пшениці**

В Україні фактично щороку зростають показники валового збору зерна, в тому числі пшениці. Це пояснюється вдосконаленням технології вирощування та поступовим розширенням площ під комерційно успішними культурами. Водночас керівники багатьох господарств вже не обмежуються простими показниками врожайності пшениці на своїх полях та орієнтуються на виробництво зерна вищих класів. Це дає змогу отримати додаткові кошти у розрахунку на 1 тону реалізованої продукції, підвищуючи таким чином показники рентабельності виробництва.

Донедавна аграрна Україна користувалася на світовому ринку статусом країни-виробника переважно фуражного зерна нижчих класів. В окремі роки його частка у валовому виробництві досягала 80%. Натомість пшениця 2 клас та особливо 1-й вважалася «штучним» товаром.

Впродовж останніх років становище у цій сфері істотно покращилося. Вже сьогодні можна стверджувати, що незважаючи на черговий нетиповий із точки зору погодних умов сезон, урожай озимої пшениці-2019 на 65% складається з продовольчого збіжжя і лише на 35% – фуражна пшениця [9].

### **Головні критерії якості пшениці**

В Україні з початку нинішнього маркетингового року почав діяти новий стандарт розподілу за класністю (класифікація пшениці по класам), тобто по вмісту білка та клейковини – ДСТУ 3768:2019. Розрізняють два види пшениці – м'яка і тверда. Для першого виділено всього чотири класи, для другого – п'ять, і між ними існує доволі суттєва різниця за показниками якості. Пшениця 1 класу для найпоширеніших у нас м'яких сортів повинна мати вміст білка 14% та 28% клейковини. Натомість 4 клас – довільний вміст білка і клейковини. Якщо говорити про цілковито фуражне, тобто, кормове зерно, то до нього навіть не застосовується така класифікація пшениці по класам. Головне аби його вологість не перевищувала показник 14%, вміст смітцевої домішки – 5%, а сажкового зерна – 10% [9].

### **Вміст білка**

Відсоткове кількісне значення білка характеризує його вміст. Визнано, що всі класи пшениці [5] повинні мати показник на рівні від 11 до 14%. Нижче чи вище значення негативно впливає на якість продукції, в складі якої міститься таке борошно. Крім того, такі зміни відображаються на вміст клейковини, який може вдвічі збільшитися при збільшенні показника білка в 1,4 рази. У роботі [9] досліджено також вплив добрив та засобів захисту рослин на білкову структуру зернини. Так, визнано, що збільшена доза добрив на 1 ц/га додатково збільшує вміст білка на більш, ніж 0,5%, а кожен із ЗЗР (гербіцид, фунгіцид, інсектицид та ін.) примножує до даного показника в середньому по 0,44%.

### **Вміст клейковини**

Вміст клейковини – відношення вмісту клейковини в сирому вигляді до загального вмісту білка. Даний показник характеризує якість борошна, яке виготовляють з різних класів пшениці. Відповідно до вітчизняних стандартів [9] зерно повинно містити від 18 до 28% клейковини. На її вміст прямо пропорційно впливають добрива та засоби захисту рослин. Класи пшениці по клейковині визначають так: чим вищий клас пшениці, тим більше значення даного показника.

**Фактори, що впливають на якість пшениці.** Можна стверджувати, що на зростання частки якісного продовольчого збіжжя в Україні вплинуло вдосконалення технології вирощування пшениці. Дослідженнями встановлено [9], що на це впливає більш ефективний підбір сортів озимої зернової з ширшим використанням насіння високо інтенсивних сортів із здатністю до накопичення білків та клейковини. Також оптимізація мінерального живлення посівів та підвищення ефективності їх хімічного захисту.

**Фактори, що залежать від людини.** Перший чинник сформувався завдяки зростанню якості консультативної та агрономічної підтримки з боку компаній-оригіраторів насіння та їх офіційних представництв в Україні. Сучасний вітчизняний фермер вже не просто підбирає підходящий сорт пшениці, а здійснює це із врахуванням десятків факторів, починаючи з кліматичних умов регіону і закінчуючи особливостями конкретного поля [9].

Другий чинник передбачає впровадження чітко розрахованої системи живлення посівів, яке передбачає ефективне застосування азотних мінеральних добрив, так і позакореневе підживлення мікроелементами. Донедавна у багатьох господарствах практикувався бюджетний підхід до мінерального удобрення посівів сільгоспкультур, включаючи озиму пшеницю. Досить часто внесення добрив здійснювалося буквально «на око», виходячи з наявних фінансових можливостей господарства, а не чітко розрахованої потреби в тих чи інших елементах живлення посівів відповідно запланованої врожайності. Фактично мова йшла про сподівання на природну родючість ґрунтів та вчасні достатні опади. Однак такий підхід може спрацювати лише епізодично, причому в жодному разі він не дасть змогу отримати зерно вищих класів, а також – високу врожайність. Таким чином, за прийнятних кліматичних умов в Україні набуває поширення інтенсивна технологія вирощування озимої пшениці, котра передбачає, зокрема, орієнтацію на отримання 1-2-го, чи принаймні 3-го класів [9].

Суттєво впливають на визначення якості зерна і такі важливі показники як його вологість та наявність сміттєвих домішок. Перший показник для твердих сортів пшениці не повинен перевищувати 14,5%, а для м'яких – 14% [5]. Звісно, він залежить від низки умов, починаючи від якісного сушіння збіжжя у сушарках із попереднім вилученням домішки насіння бур'янів, так і від дотримання вимог належного зберігання врожаю у сховищах. Цей момент набуває дедалі більшої ваги, оскільки трапляються ситуації, коли доводиться

витрачати додаткові кошти і час на те, аби досушувати партію закладену на зберігання.

Вміст сміттєвих домішок у зерні твердої пшениці 1 та 2 класів не повинен перевищувати 5%, пшениця 3 клас – 8%, 4 класу – 10%, 5 класу – 15% [5]. Ясна річ, що на цей показник можна впливати, і чим нижчим буде вміст сміттєвих домішок у партії, тим простіше її буде зберігати, а також реалізувати на продаж.

Це ж саме стосується і сажкового зерна, обмежений вміст якого є допустимим у партіях, які спрямовуються на продаж. Це наслідки зараження пшеничного колоса, після якого на ньому лишаються так звані мішечні зони, що мають чорне забарвлення. Це захворювання є доволі поширеним, а тому в невеликій кількості допустимо у зерні. Вважається, що пшениця класів від 1 до 4 може містити до 5% сажкового зерна, а пшениця 5 класу – до 10% [5].

Певне значення при визначенні якості зерна має так званий показник склоподібності – визначення консистенції, яка формує білково-крохмальний комплекс. Чим вона є вищою, тим міцніше зерно, і тим простіше переробляти продукцію на борошно та крупи. Таким чином, тверді сорти пшениці характеризуються високою склоподібністю, а у твердої ці показники можуть різнитися. Даний показник для пшениці 1 класу має становити не менш аніж 70%, для 2 класу – 60%, 3 класу – 50%, 4 класу – 40% [5]. Зерно нижчого класу не має таких обмежень.

Для того аби розраховувати на отримання зерна 1 класу потрібно вносити не менш, аніж 200 кг азоту в діючій речовині на 1 гектар. У фізичній вазі мінеральних добрив це приблизно дорівнює 600+ кг/га аміачної селітри [11]. Наприклад, внесення 3 центнерів аміачної селітри забезпечує отримання щонайбільше 3 класу. Його ціна на міжнародних ринках може бути нижчою на 100 доларів за 1 тону в порівнянні з зерном пшениці 1 класу. Відповідно, заощадивши на додатковому внесенні на 1 гектар азотних добрив на суму,

умовно кажучи, 100 доларів, фермер може втратити у декілька разів більшу суму, в розрахунку на 1 гектар площі, на зниженні класності зерна [11].

Звісно, в цьому питанні не можна вести мову про беззаперечні економічні розрахунки. Багато чого залежить від якості, виду, способу і строків внесення азотних добрив, а також від ступеня їх засвоєння кореневою системою рослин.

Відомо, існують так звані тверді та м'які сорти пшениці, котрі відрізняються за низкою показників. Ключовим серед них є різна придатність до виробництва продовольчої хлібопекарської продукції.

Завдяки підвищеному вмісту білка та іншим властивостям тверді сорти не кришаться і найкраще придатні для виробництва високоякісного борошна для випікання хлібобулочної продукції, а також виробництва макаронів. Натомість м'яка пшениця має м'який ендосперм і добре кришиться під час перемелювання. Це зумовлює використання борошна для виробництва печива, багетів тощо [11]. Відповідно, висококласні сорти обох видів стають дедалі більш затребуваними не лише на міжнародному, але й внутрішньому ринку.

Міжнародна класифікація якості пшениці. Класифікація пшениці (типи і підтипи), яка визнана в світі відрізняється від визнаної в окремих країнах. Проте саме за такими стандартами якісних показників можна здійснювати експорт збіжжя в різні держави. Світова класифікація зерна пшениці виділяє шість класів, які поділені на три групи [9].

Група А (1-3 клас) Перша група А, яка включає перший, другий та третій класи зерна пшениці, які вважають найціннішими, тому користуються значним попитом у виробництві хлібо-булочних та інших виробів харчової галузі промисловості.

Група Б (4-5 клас). Друга міжнародна група – Б, яка включає четвертий та п'ятий класи пшениці. З такого зерна виробляють макарони та

іншу борошняну продукцію. Зазвичай такі сорти пшениці перед використанням змішують з групою А.

Група В (6 клас). Остання класифікаційна група В включає тільки один шостий клас. Це фуражний тип пшениці, яка використовується на корм тваринам.

Потрібно зазначити, що велику роль у визначенні класності пшениці відіграє можливість провадити об'єктивний аналіз його якості. Адже трапляються випадки, коли після надання партії зерна в порту одного класу, після прибуття її за призначенням ці показники дещо можуть відрізнитися.

Також наголосимо на тому, що у завданні отримання зерна пшениці найвищого класу важливим є кожен елемент ланцюжка – від поля до порту. Зокрема, це стосується достатнього азотного живлення, використання сучасних комбайнів із високоефективними системами сепарації, якості сушіння зерна та інших чинників.

### **1.3 Лущення пшениці у технології сортового помелу**

Завдання підвищення якості та виходу борошна залишаються актуальними для більшості млинів сортового помелу пшениці, що вимагає пошуку гарантованих і економічно виправданих шляхів їх вирішення. Одним з напрямків такого пошуку є використання процесу обробки зерна на етапах його підготування до помелу, відомого за кордоном під терміном «debraning». Дебраннінг - похідна від слова «bran» (висівки), яку можна перевести, як лущення, відповідно машину, для реалізації процесу лущення, тобто луцильник, називають «debraner» (дебраннер) [1].

Відомо, у процесі лущення з поверхні зерен віддаляється значна частина оболонок, частинки пилу, мікроорганізми, а сама зернова маса додатково очищається від більшості домішок, що містяться у ній. Таким чином, зерно пшениці повинно набувати більш високі борошномельні

характеристики, що, у свою чергу, повинно сприятливо позначатися на результатах помелу, особливо сортового.

Разом з тим, зерно, що піддане луценню, сильно відрізняється від початкового зерна фізико-механічними, біохімічними, фізіологічними та іншими властивостями. Очевидно, що при використанні луцення більшість процесів у структурі помелу виходять за межі закономірностей, що вивчені і традиційно застосовуються. Таким чином, можливість практичного використання простої, на перший погляд, ідеї вимагає розробки нової технології, та її апаратного забезпечення.

У вітчизняному борошномельному виробництві найбільш значущими у цьому напрямку були дослідження І.Т. Мерко, І.Р. Дударєва, що проводилися у ОТХП (м. Одеса), а також роботи Б.М. Максимчука, Г.А. Єгорова та інших дослідників, що проводилися у ВНДІЗі і МТХПі (м. Москва). У результаті були вивчені зміни властивостей зерна у процесі підготування пшениці до помелу методом луцення, запропоновані можливі шляхи реалізації зазначеного процесу, а також описаний позитивний ефект, який отриманий у результаті експериментального помелу [1].

Існують відомості про роботу у цьому напрямку і за кордоном. Так, наприклад, у статті «Визначення зольності – корисний стандарт або марна трата часу?» [1] дослідники з Великобританії, Нідерландів та Австралії розкривають механізм підвищення білості борошна, що одержують у результаті віддалення перед помелом «верхнього шару висівок». Відзначається, що у результаті такої обробки поліпшуються і хлібопекарські властивості борошна, зокрема, його тістоутворювальна здатність.

Нова технологія знезараження зерна, що пропонується з недавнього часу фірмою «Бюлер» [1], передбачає очищення поверхні пшениці луценням. Зокрема зазначається, що після такої обробки борошно виходить з більш високим показником білості, у ньому зменшується кількість частинок оболонки і поліпшується його зовнішній вигляд.

Дебраннінг, як нова технологія помелу, машини для його реалізації, переваги та одержуваний позитивний ефект декларуються і у матеріалах фірми PROKOP [1].

Однак, у такій величезній і розвинутій галузі, як вітчизняне борошно подрібнення, невідомі випадки промислового застосування розглянутого технологічного прийому ні вітчизняними, ні закордонними розробниками. За нашим припущенням, причиною тому є відсутність по-справжньому апробованої технології та засобів її реалізації, що дозволяють ефект дослідного помелу гарантовано перетворити у економічний ефект на промисловому рівні.

Вивчивши доступні результати робіт, пов'язаних з дебраннінгом, вчені разом з О. П. Верещинський визнали зазначений напрямок досить перспективним у плані практичного використання. Перші досліді підтвердили, що при підготованні зерна до помелу процеси лушення у своєму впливі тісно переплітаються з процесами кондиціювання [1]. Лушене зерно значно інтенсивніше і рівномірніше поглинає вологу з великими її приростами. Цей ефект важливо використати для скорочення часу і підвищення якості кондиціювання. Разом з тим, було встановлено [1], що ефект значного підвищення білості борошна настає при відділенні оболонки більше 5 %, а в деяких випадках 8 % і навіть 10 % від маси зерна. При такому ступені обробки неминує травмується зародок, який грає виключно позитивну роль у процесах кондиціювання, а зволене зерно стає схильним до злежування. Таким чином, з урахуванням майбутніх процесів кондиціювання, обробку поверхні необхідно вести ретельно, але у дуже щадних режимах. Для виконання зазначеного завдання найкращим чином підходить машина марки MAO, що розроблена ТОВ «ОЛІС», як більш ефективний аналог існуючих оббивальних машин (рис. 1.1).



*Рисунок 1.1 - Машина конструкції МАО.*

Сутність конструкції та особливості її роботи детально викладені у статті «Обробка поверхні зерна на млинах», журнал «Хранение и переработка» №5, 2005 р.. [11] У результаті взаємодій з робочими органами, у даній машині відбувається відділення оболонок у кількості 1,5-2,0 % від маси зерна. Зазначене призводить до зниження його зольності на 0,05-0,08 %, підвищення натурі на 15-20 г/л і зниження вмісту смітцевої домішки на 30-40 %. Наведені дані показують, що машина МАО справді значно ефективніша оббивальних машин типу А1-БГО і А1-БМО, що традиційно використовуються. При цьому, зерно практично не травмується, а його поверхня набуває шорстку поверхню. Для рівномірного зволоження такого зерна не потрібні машини інтенсивного зволоження типу А1-БШМ, які енергоємні і також травмують як саме зерно, так і його зародок. Досить

ефективне зволоження можна організувати, розпорошуючи воду навіть у звичайному шнековому транспортері довжиною кілька метрів, забезпечуючи, в разі необхідності, надійне прирощення вологи до 5-6 %. При цьому, за рахунок збільшення швидкості поглинання вологи, час відволоження можливо скоротити на 30 %, що особливо актуально при переробці сухого, склоподібного зерна.

Спостереження представлені у роботі [1] показали, що зняття оболонки у значних кількостях найбільш доцільно проводити перед останнім етапом кондиціонування, передбачаючи два, а для сухого і склоподібного зерна – три етапи в разі застосування методу холодного кондиціонування. Спроби використовувати для зазначеної мети відомі у промисловості луцильні та луцильно-шліфувальні машини, у т.ч. різні модифікації А1-ЗШН, виявилися неспроможними. Разом з тим, накопичений досвід дозволив сформулювати основні вимоги до необхідної машини. Така машина повинна забезпечувати високі ступені луцення і вирівнювання обробки без створення оголених ділянок ендосперму. Процес луцення повинен здійснюватися з невисокою енергоємністю і бути стабільним на зерні з вологістю до 17%. Крім того, машина повинна легко управлятися і налаштовуватися на будь-які коефіцієнти луцення із вимогових меж, бути надійною і інтегруватися в АСУ млина. Зазначеним вимогам відповідає розроблена конструкція машини під назвою «Каскад», та її модельний ряд, що включає чотири моделі різної продуктивності. Підходи до створення даної машини, конструктивні особливості і забезпечуваний ефект докладно наведені у статті: «Нові машини для високоефективної обробки поверхні зерна», журнал «Хранение и переработка» №5, 2002р. [11] Стосовно до луцення пшениці, у межах її підготування до помелу, обробка у «Каскаді» надійно забезпечує зниження зольності зерна на 0,2-0,3 %, що на порядок вище, ніж у традиційних лініях підготування зерна, оснащених оббивальними, мийними машинами або машинами мокрого луцення. Аналіз відокремлених висівок на зольність

показав, що при необхідних ступенях лушення величина їх зольності приблизно відповідає зольності висівок розмельного відділення. Зазначене свідчить про те, що відділення значної частини висівок у машинах «Каскад» до розмелювання зерна не тягне за собою утрат борошна, що впливають на його вихід. До такого ж висновку приводять і результати аналізів на вміст крохмалю. При обробці у машинах «Каскад» спостерігається подальше зниження вмісту сміттевої домішки і зростання натуре зерна. Витрати електроенергії на обробку залежно від ступеня лушення становлять 9-15 кВт/т. У процесі лушення зерно нагрівається до температури 30-35 градусів, його вологість знижується на 0,3-0,7 %, в основному, за рахунок висихання оболонок. Таке зниження вологості зерна, необхідно компенсувати на останньому етапі кондиціонування. Звільнене від оболонок, тепле зерно як інтенсивно висихає, так і, у разі зволоження, поглинає вологу. Процеси відволоження прискорюються, набуваючи ознак гарячого кондиціонування зі зміцненням слабкої клейковини. Правильно використовуючи ефект тепломасообміну при лущенні зерна, його зволоженні, взаємодіях з аспіраційним повітрям і транспортними комунікаціями можливо у межах останнього етапу кондиціонування як підсушити зерно на величину до 1 %, так і звожити на величину до 2 % з розподілом доданої вологи на поверхні або вглиб зерна.

Під час розмелювання зерна, підготовленого описаним вище шляхом, змінюється характер крупоутворення у драному процесі. На подрібнення зерна потрібно набагато менше енергії, що повністю компенсує витрати енергії на лушення. Наочним підтвердженням зазначеного є те, що час служби валків до чергового нарізання збільшується у 1,5-1,7 рази. У лушеному зерні порушена цілісність оболонок і їх зв'язок з ендоспермом, тому крупо-дунстових продуктів утворюється більше, за сукупною оцінкою вони дрібніші, але кращої якості. Навіть при високих режимах подрібнення крупоутворення обмежується, в основному, першими двома системами. З

урахуванням того, що питомий вміст оболонок у зерні низький, і зв'язки з ендоспермом ослаблені для вимолоту оболонок, у більшості випадків, достатньо однієї вальцьової системи. У деяких випадках, з задовільною ефективністю, замість вальцьової системи можна використовувати систему, оснащену вимольною машиною і навіть ентолейтором. Параметри валків у драному процесі рекомендуються традиційні. За спостереженнями [1], при тій кількості і якості крупо-дунстових продуктів, яке забезпечують описані вище технологічні фрагменти, застосування процесів збагачення на ситовійних машинах не є визначальним фактором для отримання високої якості і виходу борошна (рис. 1.2).



*Рисунок 1.2 - Типова установка для дебраннінга на млині P6-ABM-15.*

У розмельному процесі подрібнення крупо-дунстових продуктів не носить відмінних рис. Разом з тим, у більшості випадків, надається можливість скорочення розмельного процесу на одну систему, що пояснюється надходженням з драного процесу дрібніших продуктів, імовірно, з більшою розвиненістю мікротріщин. У випадках використання нарізних валків і (або) ентолейторів для забезпечення високих витягів на продуктах розмельних систем, значущого погіршення якості борошна нами

не помічено. Гарантовано високі вилучення (60-70 % на «головних» розмельних системах) забезпечують ентолейтори типу «Симпактор». Застосування ентолейторів зазначеної конструкції є додатковим аргументом у прийнятті рішень про скорочення числа (довжини) вальцових систем [1].

Технологічні фрагменти, основні риси яких, тенденції і засоби реалізації наведені вище, були об'єднані науковцями [1] у технологію, що дозволяє промислове впровадження. Використання такої технології на різних млинах має свої особливості. Так, за їхніми даними для застосування на млинах малої продуктивності, таких як Р6-АВМ, МВС, а також деяких моделях «Харків'янок» розроблені компактні типові установки, що включають машину «Каскад», необхідної продуктивності з комплектом необхідних технологічних, транспортних та інших елементів (рис. 1.3). Такі установки агрегатуються з відповідними марками млинів і використовують для роботи резервну частину повітря їх штатного пневмотранспорту. У ряді випадків впровадження дебраннінга вимагає внесення деяких змін у технологічні особливості розмельних відділень зазначених млинів.

Досить поширеними і затребуваними останнім часом є млини продуктивністю 40 - 60 т/добу. Як правило, це імпортовані агреговані млини або млини вітчизняної споруди, створені за індивідуальними проектами. Відмінною особливістю зазначених млинів є скорочена структура помелу, що реалізована на основі промислового обладнання. Однак, більшість таких виробництв не витримують фахової критики у частині дотримання основ технології помелу, компановних, будівельних та інших рішень. Впровадження дебраннінга на млинах описаного типу, як правило, проводиться у межах їх реконструкцій чи використовується при будівництві нових виробництв (рис. 1.3, рис. 1.4) [1].



*Рисунок 1.3 - Вузол дебраннінга, реалізований машинами «Каскад» на млині продуктивністю 60 т/добу.*



*Рисунок 1.4 - Вузол дебраннінга, реалізований машинами «Каскад» на млині продуктивністю 100 т/добу.*

Впровадження нової технології на млинах описаних вище типів, стабільно забезпечує наступні результати [1]. При проведенні односортного

помелу, як правило, отримують 69-71% борошна білістю 58-59 од. Двосортний помел проводять з виходом борошна вищого сорту 57-65 % (білість 60 од., зольність 0,49-0,51 %), а також борошна першого сорту (білість 43-45 од., зольність до 0,72 %) до загального виходу 73-74 %. При цьому, борошну вищого сорту характерний привабливий товарний вигляд (без видимих «вкраплень» і сірого відтінку). При трисортному помелі, загальний вихід борошна становить 74-75 %, що забезпечується відбиранням 2-3 % борошна другого сорту. Фактична продуктивність млинів збільшується на 20-25 %, а витрати електроенергії не перевищують 70 кВт на тонну переробленого зерна.

#### **1.4 Вплив лушення зерна пшениці на процес крупоутворення**

Дослідження можливості удосконалення технології сортового помелу пшениці різними методами сьогодні набуває актуальності. Одним з таких напрямів є використання лушення зерна перед помелом. Так, у роботі [2] досліджується вплив лушення пшениці на процес крупоутворення і наводяться результати дослідних помелів.

У процесі розвитку борошномельної промисловості актуальними залишаються завдання підвищення якості та виходу борошна з використанням енерго-та ресурсозберігаючих технологій.

Сучасні великі млинзаводи, оснащені найновішим технологічним, транспортним і аспіраційним обладнанням, досягнуто вихід борошна вищого сорту не вище 72-75% при середньому вмісту ендосперму в зерні 82,5%. Подальший розвиток технології переробки зерна буде направлено на спрощення складних технологічних схем сортового помелу пшениці за рахунок удосконалення його підготовки і помелу.

Одним зі способів вирішення цього питання є використання процесу обробки зерна на етапах його підготовки до помелу, відомого за кордоном під термінами “debranning” (від німецького “bran” — висівки, тобто зняття

висівок), або “pearling” (від англійського “pearl” — перлина, тобто шліфування). Загалом ці терміни можна перекласти як лущення, тобто процес, призначений для очищення поверхні, видалення щитка, частково зародка й оболонки зерна в борошномельному виробництві [13].

Як було зазначено в актуальності, впливом процесу лущення зерна на якість і вихід борошна займалися багато вітчизняних вчених. Так, ще в 30-х роках цю тему розглядав В.Я. Гіршсон, використовуючи оббивальні машини з абразивною по-верхнею, також проводив дослідження з лущенням попередньо зволоженої пшениці, які дали позитивні результати. Однак через надмірно високу вологість відходів (до 35-45%) і необхідність їхнього висушування цей спосіб не набув поширення [3].

У Московському технологічному інституті харчової промисловості під керівництвом Л.Н. Любарського були проведені роботи з вишукування фізико-хімічних методів відокремлення оболонки [12]. Але використання хімічних методів визнали неприйнятним через зниження харчової цінності готової продукції. А.В. Кисельова й І.Е. Борисенко [7], які стверджували, що лущення зерна приводить до підвищення зольності борошна всіх сортів на 0,01-0,03%.

Дослідженнями [13], що проводилися раніше, відзначено, що при розмелі лущеного зерна пшениці не досягається підвищення виходу борошна високих сортів через погіршення її зольності. Це пояснюється тим, що в результаті лущення зменшується товщина оболонки, знижується їхня міцність і відбувається деформація клітин алейронового шару, внаслідок чого при традиційних методах підготовки і розмелу зерна підвищується подрібнюваність оболонки, спостерігається утворення великої кількості дрібних фракцій на драних системах, що ускладнює процес вимелу, погіршується товарний вигляд борошна. Як відомо, найміцнішою частиною зернівки є оболонки, для руйнування яких потрібно найбільших зусиль. Тому їхнє видалення перед здрібненням має великий вплив на структурно-

механічні властивості зернівки й зернової маси в цілому [10], що суттєво змінює технологічний процес розмелу зерна. При будь-якому сортовому помелі початковим і найважливішим є процес крупоутворення, тобто процес первинного здрібнення зерна з метою максимального виходу проміжних продуктів, кількість і якість яких безпосередньо впливають на показники готової продукції.

В роботі [6] досліджували режими роботи перших трьох драних систем (I, II, III др. с.) і різні режими луцення зерна. Процес луцення будувався за п'ятьма режимами: при луценні зерна протягом 1, 3, 5, 7, 9 хв. для отримання бажаного ступеня луцення (кількості знятих оболонок) з подальшим його здрібненням. Така обробка необхідна для зняття найбільш пружних частин зернівки, а саме оболонок. Така обробка може знизити питомі енерговитрати при здрібненні, зменшити протяжність технологічного процесу розмелу і покращити якість готової продукції.

Згідно зі схемою (рис. 1.5) перед першою драною системою зерно обробляли на луцильній системі зі зняттям оболонок у межах 1%, 3%, 5%, 7%, 9%. Дослідження такого широкого діапазону пов'язане з неоднотайністю в судженнях як вітчизняних, так і закордонних вчених, які наводять різні дані щодо оптимальних режимів роботи луцильної системи.

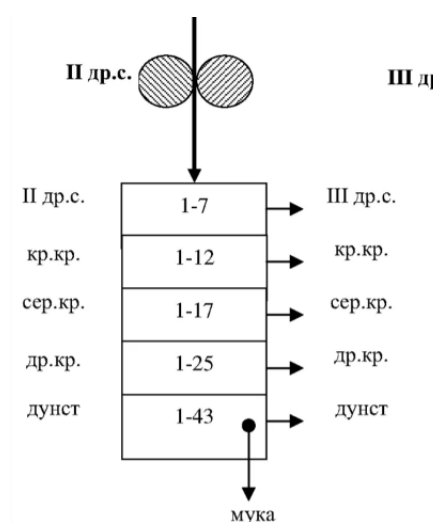


Рисунок 1.5 – Схема драного процесу з використанням луцення зерна перед першою драною системою.

Як передбачено правилами [15], зерно перед помелом піддавалося кондиціюванню холодним способом. Наважка зерна зволожувалася водою до 15,5%, відволожувалася у спеціальній герметичній ємності 12 год., потім проводили короткочасне кондиціювання протягом 15-30 хв. з додаванням вологи 0,5%, після чого зерно одразу направлялося на лушильну систему.

Лущення зерна проводилося на лушильній установці, що має такі технічні характеристики: діаметр отворів сита  $D=1$  мм; зернистість абразивної поверхні 50%; потужність електродвигуна  $W=1$  кВт. Роз-мел зерна пшениці проводився на лабораторній здрібнювальній установці Nagema. Використовувалася тільки драна частина верстата, що має такі технічні характеристики: кількість рифлів  $R=6$ ; колова швид-кість вальців  $V=6$  м/с; нахил рифлів  $H=6\%$ ; довжина вальців  $L=150$  мм; діаметр вальців  $D=220$  мм. Зазор на вальцьовому верстаті встановлювали однаковим для всіх дослідних помелів: на I др. с. — 0,9 мм; II др. с. — 0,5 мм; III др. с. — 0,35 мм, що дало змогу дослідити можливість впливу ступеня лущення зерна на режими роботи різних крупотворюючих систем.

Просіювання продуктів розмелу зерна проводилося на лабораторному розсійнику з такими технічними характеристиками: амплітуда коливань  $A=100$  мм; частота коливань  $N=150$  об/хв.; потужність електродвигуна  $W=1$  кВт. Схеми процесу сортування для кожної системи наведено на рис. 1.5.

Результати проведених досліджень з впливу лущення зерна на режими роботи драних систем наведено в табл. 3.

З даних табл. 1.3 видно, що зі зростанням ступеня лущення зерна на 1% збільшувалося загальне вилучення і на I, і на II драних системах на 0,6-0,9% та відповідно зменшувалося на III драній системі на 0,3-0,4%. Загалом, зростання ступеня лущення збільшувало загальне вилучення з I-III драних систем з 81,7 до 90,1%, що пов'язано з видаленням частини оболонок при

лущенні та зростанні частки внутрішньої частини зернівки в продуктах здрібнення.

Таблиця 1.3 – Режими роботи крупоутворювальних систем стосовно лущеного зерна

Ступінь лущення, %	Загальне вилучення, %						
	I др.с.		II др.с.		III др.с.		I – III др.с
	до I др.с.	до системи	до I др.с.	до системи	до I др.с.	до системи	
0	30,8	30,8	41,5	60,0	9,5	33,9	81,7
1	31,4	31,4	42,0	61,7	9,0	32,8	82,4
3	33,6	33,6	45,9	69,1	8,2	40,0	87,6
5	34,7	34,7	46,0	70,3	7,1	37,0	87,8
7	36,9	36,9	46,5	73,6	6,9	41,5	90,3
9	37,0	37,0	47,2	74,8	6,1	37,1	90,1

Таблиця 1.4 – Режими роботи крупоутворювальних систем стосовно вихідного зерна

Ступінь лущення, %	Загальне вилучення, %						
	I др.с.		II др.с.		III др.с.		I – III др.с
	до I др.с.	до системи	до I др.с.	до системи	до I др.с.	до системи	
0	30,8	30,8	41,5	60,0	9,5	33,9	81,8
1	31,1	31,4	41,6	61,7	8,9	32,8	81,6
3	32,6	33,6	44,5	69,1	8,0	40,0	85,1
5	33,0	34,7	43,7	70,3	6,7	37,0	83,4
7	34,3	36,9	43,2	73,6	6,4	41,5	84,0
9	33,7	37,0	43,0	74,8	5,6	37,1	82,2

Але якщо розглядати дані режимів стосовно вихідного зерна (направленого на лущення), то такого стрімкого зростання не спостерігалось (табл. 1.4).

Стабільне зростання загального вилучення на I і II драних системах спостерігалось тільки до ступеня лущення 3%. При цьому вихід проміжних продуктів і борошна на процесі крупоутворення збільшився з 81,7 до 85%. При подальшому лущенні загальне вилучення стосовно вихідного зерна незначно зменшилося і при ступені лущення 9% практично дорівнювало загальному вилученню при здрібненні нелущеного зерна.

Дані виходу проміжних продуктів і борошна, отриманих у результаті проведених дослідних помелів [10], наведено в табл. 1.5, 1.6.

На I драній системі зі зростанням ступеня лущення з 1 до 9% спостерігалось збільшення виходу крупної крупки від 15,5% до 19,6% і борошна від 4,1% до 5,7% відповідно. Вихід решти проміжних продуктів коливався в незначних межах і практично не змінювався для лущеного і нелущеного зерна.

На II драній системі спостерігалось збільшення крупної крупки з 21,4% до 27,4%, середньої крупки — від 16,6% до 24,3%, дрібної крупки — від 8,4% до 10,8%. Вихід дунстів зменшився з 6,3% до 5,5% і борошна від 7,1% до 6,9%, при лущенні — 1% і 9% відповідно.

На III драній системі спостерігалось зростання виходу середньої крупки з 19,7% до 21,2%, незначне зменшення виходу дрібної крупки від 12,9% до 12,1%, дунстів — з 8,5% до 7,9%, борошна — від 12,2% до 11,6% при ступені лущення 9%.

Таблиця 1.5 – Вихід проміжних продуктів і борошна з I др.с., % до лущеного зерна

Продукт	Ступінь лущення, %					
	0	1	3	5	7	9
Крупна крупка	15,2	15,5	17,6	17,9	19,9	19,6
Середня крупка	5,2	5,4	5,1	5,0	5,2	4,9
Дрібна крупка	3,6	3,6	3,7	3,8	3,6	3,7
Дунсти	2,7	3,0	2,9	3,3	3,1	3,2
Борошно	4,2	4,1	4,3	4,8	5,2	5,7
<b>Разом</b>	<b>30,8</b>	<b>31,4</b>	<b>33,6</b>	<b>34,7</b>	<b>36,9</b>	<b>37,0</b>

Таблиця 1.6 – Вихід проміжних продуктів і борошна з I – III др.с., % до лущеного зерна

Продукт	Ступінь лущення, %					
	0	1	3	5	7	9
Крупна крупка	28,5	29,9	34,7	34,9	36,9	36,9
Середня крупка	19,7	20,1	21,2	20,5	21,8	21,3
Дрібна крупка	12,9	12,7	12,6	12,8	12,1	12,6
Дунсти	8,5	8,3	8,2	8,1	8	7,9
Борошно	12,2	11,4	11	11,5	11,5	11,6
<b>Разом</b>	<b>81,7</b>	<b>82,4</b>	<b>87,6</b>	<b>87,8</b>	<b>90,3</b>	<b>90,1</b>

Результати табл. 1.6 показують вплив ступеня лущення зерна на перерозподіл проміжних продуктів і борошна. При лущенні до 9% спостерігається поступове збільшення виходу крупної від 29,9% до 36,9%, середньої крупки — від 20,1% до 21,3%, вихід дрібної крупки і дунстів практично не змінився, вихід борошна дещо зменшився.

Ці коливання можуть пояснюватися змінами фізико-механічних властивостей зерна після лущення. Як вказує Куприц Я.Н., оболонка є

каркасом зернівки, який цементує зернівку і пом'якшує дію деформацій, що впливають на зернівку при здрібненні. При зніманні пластичних частин зернівки, тобто оболонки, на неї починають діяти сили стискування в робочій зоні вальцьового верстата, ніж сили зсуву. Внаслідок цього зернівка руйнується більш як крихке тіло, а не пластичне, і утворюються більш крупні фракції [10].

Наведені дані про збільшення виходу проміжних продуктів крупних фракцій (крупної та середньої крупки) у драному процесі суперечать твердженням деяких вітчизняних вчених [1], які пишуть про отримання більшої кількості дрібних фракцій у процесі крупоутворення. Можливо, це пов'язано з тим, що при дослідних помелах встановлювалися однакові зазори на відповідних системах, внаслідок чого режими систем змінювалися, тому необхідно дослідити вплив ступеня лушення на процес крупоутворення при однакових режимах роботи систем здрібнення.

Як зазначалося раніше, вплив лушення на якісні показники борошна досліджували багато вчених, і наводилися різноманітні дані. Так, деякі вказують на підвищення зольності борошна за рахунок здрібнення зольних частин зернівки, а інші — на збільшення виходу і незначне зменшення зольності. Якість борошна напряму залежить від характеристик проміжних продуктів, тому їхнє дослідження планується пізніше. Результати досліджень зміни якості проміжних продуктів і борошна, а також дані зміни питомих енерговитрат при лушенні зерна і його здрібненні будуть наведені в наступних роботах.

На основі проведених досліджень для зерна II типу склоподібністю 51% встановлено пряму залежність режиму роботи системи від ступеня лушення (від 1 до 9%): лушення зерна на 1% дає можливість збільшити загальне вилучення проміжних продуктів приблизно на 0,9-1% стосовно зерна, що надходить на здрібнення, або на 0,3-0,4% стосовно вихідного зерна, що надходить на переробку.

Лущення зерна приводить до зростання виходу більш крупних технологічних фракцій крупної та середньої крупок, внаслідок чого очікується позитивний вплив лущення зерна на якість готової продукції.

### **Висновки до розділу 1**

1. В першому розділі кваліфікаційної роботи провели дослідження літературних джерел по темі процесу лущення зерна пшениці та від чого він залежить і на що впливає.

2. Було встановлено, що на ефективність лущення впливають технологічні властивості зерна.

## **РОЗДІЛ 2**

### **ОБ'ЄКТИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ**

#### **2.1. Об'єкти досліджень**

Об'єктами досліджень є зерно пшениці врожаю 2019 року, яке відповідало вимогам ДСТУ 3768:2019 «Пшениця. Технічні умови».

Предметом дослідження були зразки зерна пшениці II типу. Зерно мало такі показники якості: початкова вологість 13,0%; натура 756 г/л; склоподібність 21,3%; маса 1000 зерен 38,05 г; зольність 1,55%. Зерно було досить крупним, засміченість зерна не перевищувала допустимі норми.

#### **2.2. Методи досліджень**

Експериментальна частина магістерської роботи виконана у лабораторії кафедри технології зберігання і переробки зерна НУХТ.

##### **2.2.1 Методи визначення фізико-технологічних показників якості**

Відбір проб і приготування наважки продукту проводили згідно з ДСТУ ISO 13690:2003: “Зернові, бобові та продукти їхнього помелу. Відбирання проб”

Вірогідність органолептичних методів досягається завдяки точності й об'єктивності оцінки, а також чіткому формулюванню результатів цих вимірювань, що дозволяє об'єктивно провести їхній аналіз і уникнути довільного тлумачення дослідних даних. Органолептичні оцінки якості поділяються на дві групи: споживчі й аналітичні. Спосіб проведення оцінок у кожній із цих груп відзначається великою різноманітністю залежно від того, які відомості необхідно одержати про даний продукт, а також від властивості продукту, аналітичних особливостей дегустаторів і вимог застосовуваного статистичного аналізу отриманих результатів.

Органолептичну оцінку проводили за діючими державними стандартами. Про те що сировина є якісною свідчить її колір, запах, смак, а також свіжість сировини та її придатність до переробки.

Якісне зерно не повинно мати затхлого, пліснявілого чи солодового запаху, містити кислого або гіркого смаку. Та сировина яка не відповідає даним показникам якості, не допускається до переробки.

Органолептичний метод оцінки якості харчових продуктів заснований на аналізі сприйняття органами чуття (зору, слуху, нюху, дотику і смаку).

*Колір* - визначає свіжість зерна. Зерно повинно мати гладку поверхню, природній блиск і колір, специфічного виду. Для визначення кольору, зерно розсипають на блакитний папір. Зерно з підвищеною вологістю має матовий відтінок, можливі плями від ураження мікроскопічними грибами.

Червонуватий колір свідчить про самозігрівання зерна, а зеленуватий - про його незрілість.

*Запах* - доброякісне зерно має слабкий специфічний аромат. Затхлий - вказує на недостатню вентиляцію зерносховища, солодовий - свідчить про підвищену активність зерна, яка веде до збільшення його кислотності, медовий запах - притаманний ураженому шкідниками зерну, оселедцевий - про ураження зерна головною, мишачий - про наявність у сховищі гризунів, цвілий - про розвиток на зерні мікроскопічних грибів.

Для визначення запаху, зерно треба розмолоти, залити водою з температурою 60-70 С і закрити кришкою, через 3 хвилини, воду злити і визначити запах.

*Смак.* Доброякісне зерно має молочно-солодкуватий смак. Солодкий присмак вказує, що зерно проросло, а кислий - про розвиток у ньому грибів. Для визначення смаку, зерно розжовують, і потім промивають рот водою.

Визначення зовнішнього виду проводили візуально, запах та колір – згідно з ГОСТ 10967-90 «Зерно. Методы определения запаха и цвета», зараженість шкідниками хлібних запасів – згідно з ГОСТ 13496.13-75

«Комбикорма. Методы определения запаха, зараженности вредителями хлебных запасов».

Натуру визначали згідно з ДСТУ 4234:2003: “Зернові культури. Визначення об’ємної щільності, так званої “маси на гектолітр” Частина 2. Робочий метод”. Це маса зерна в певному обсязі, найчастіше вимірюється в грамах на 1 літр (г/л). Натура визначається для зерна хлібних злаків. Різна натура пшениці, жита, ячменю і вівса пояснюється неоднаковою щільністю укладання і щільністю різних частин зерна. У зв'язку з цим голозерніе культури (пшениця і жито) мають вищу натуру, ніж плівчасті (ячмінь і овес). Крім того, натура визначається різної виконаності зерна, вологістю і засміченістю. Виконаності зерна має велике технологічне значення. У виконаному зерні (з високою натурою) міститься більше ендосперму (ядра) і менше частка оболонки, а значить більше вихід борошна і крупи при переробці. Таким чином, натура характеризує борошномельні і круп'яні якості зерна.

Натуру визначають на спеціальних приладах - пурці. Показники натури (об'ємної маси) використовують для зразкового розрахунку потрібної місткості силосів і складів або для приблизного визначення фізичної маси збереженої партії зерна. Для високонатурного зерна, порівняно з низконатурним, потрібна менша складська ємність.

Визначення маси 1000 зерен. Масу 1000 зерен визначали за ГОСТ 10842-89 “Зерно зерновых и бобовых культур и семена масличных культур. Метод определения массы 1000 зерен или 1000 семян”.

Визначення вологості зерна. Вологість зразків визначали згідно ГОСТ ISO 712-2015: “Зерно и зерновые продукты. Определение содержание влаги. Контрольный метод” прискореним методом, який ґрунтується на висушуванні наважки продукту у електричній сушильній шафі типу СЕШ-3М при температурі 130 °С протягом 40 хв. з моменту встановлення даної температури.

### 2.2.2 Методи визначення технологічних показників процесу

Модуль крупності зерна визначали за результатами вивчення залишків на ситах (ГОСТ 13496.8-92). Для цього використовували лабораторний класифікатор і сита з круглими отворами діаметром 5,0; 4,0; 3,0; 2,0; 1,0 мм.

З проби подрібненого продукту відбиралася наважка вагою 100 г. Потім на лабораторному класифікаторі проводили його розсів протягом 5 хв. на вагах зважували залишки з кожного сита і збірного дна з точністю 0,01 г.

Модуль крупності продуктів подрібнення визначався за формулою згідно експериментальних даних:

$$M_{\text{кр.}} = \frac{X_0 * \frac{d_1}{2} + X_1 * \frac{d_1 + d_2}{2} + \dots + X_{n-1} * \frac{d_{n-1} + d_n}{2}}{\sum_{i=0}^n X_i}, \text{ мм} \quad (1)$$

де  $X_0$  – прохід через сито з мінімальним розміром отворів, г;

$X_{1, 2, n}$  – залишок на ситах з діаметром отворів  $d_1, d_2, d_n$  відповідно, г.

Згідно формули (1) отримали модуль крупності самих продуктів і в співвідношенні, що свідчить про середній розмір частинок.

Визначення індекса луцення зерна. Зерно лушили в лабораторному лушильнику УШЗ–1, після чого отриманий продукт сепарували на лабораторному ситовому сепараторі. Для луцення зерна використано лабораторний лушильник УШЗ–1, призначений для обробки поверхні зерна методом інтенсивного стирання оболонок, у процесі якого відбувається видалення плодових, насінневих оболонок, алейронового шару та частково зародку. Основними робочими органами машини є диск з абразивною поверхнею, що обертається зі швидкістю 1500–3000 об/хв, сітчастий барабан, діаметр отворів якого складає 2,0 мм. Маса досліджуваного зразка – 100 г. Круп'яні продукти отримували луценням зерна пшениці впродовж 20–180 с.

Для оцінювання ефективності лушення зерна пшениці використано індекс лушення, що розраховували за такою формулою:

$$I_{\text{л}} = \frac{M_3 - M_{\text{я}}}{M_3} \cdot 100 \quad (2)$$

де  $I_{\text{л}}$  – індекс лушення, %;  $M_3$ ,  $M_{\text{я}}$  – маса зерна до лушення та маса продукту після лушення, г.

### 2.3 Методи математичного оброблення експериментальних даних

Залежність між технологічними властивостями зерна пшениці визначали методом кореляційного (Multiple Regression, Correlation matrices) та дисперсійного (ANOVA) аналізів за допомогою програм Statistica 10 і Microsoft Office 2010.

Для якісної оцінки тісноти зв'язку використовували шкалу Чеддока. Точність вимірювань та достовірність даних математично обґрунтовували на кожному етапі дослідних робіт.

Експерименти проводили у триразовій повторності.

Оскільки мало місце дублювання дослідів була проведена перевірка відтворюваності експериментальних даних. Гіпотезу про постійність дисперсії шуму перевіряли, використовуючи критерій Кохрена. Перевірка цієї гіпотези 16 давала можливість стверджувати про однорідність або неоднорідність ряду дисперсій. Під час проведення математичного моделювання використані дані, у яких ряд дисперсій був однорідним.

Розрахункове значення критерію Кохрена обчислювали за формулою:

$$G = \frac{\max(S_t^2)}{\sum_{i=1}^N S_t^2} \quad (3)$$

де  $\max(S_t^2)$  – найбільша в ряду дисперсія.

План повного факторного експерименту містив усі можливі комбінації чинників, які повторювалися на кожному рівні однакове число разів. Кожний чинник мав зумовлену межу вимірювання, всередині якої він змінювався дискретно чи перервно.

Для спрощення розрахунків математичного моделювання розширену матрицю експериментів у розкодованому вигляді з середніми даними, розрахованими з урахуванням критерію Кохрена відповідно до теорії Тейлора та оброблено надбудовою Multiple Regression програми Statistica 10.

## **Висновки до розділу 2**

1. У розділі 2 Об'єкти і методи дослідження визначили об'єкт дослідження дипломного проекту є зерно пшениці врожаю 2019 року, яке відповідало вимогам ДСТУ 3768:2019 «Пшениця. Технічні умови».

Предметом дослідження були зразки зерна пшениці II типу. Зерно мало такі показники якості: початкова вологість 13,0%; натура 756 г/л; склоподібність 21,3%; маса 1000 зерен 38,05 г; зольність 1,55%. Зерно було досить крупним, засміченість зерна не перевищувала допустимі норми.

2. Для дослідження впливу технологічних властивостей зерна пшениці на ефективність лущення були обрані наступні методи: методи визначення фізико-технологічних показників якості, методи визначення технологічних показників процесу та методи математичного оброблення експериментальних даних. Ці методи дозволять в повній мірі розкрити тему магістерської роботи.

## РОЗДІЛ 3

### ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

#### 3.1 Визначення органолептичних показників сировини

На початковому етапі дослідження, було досліджено органолептичні показники зерна пшениці. Порівняльну характеристику проводили з ДСТУ 3768:2019 «Пшениця. Технічні умови». Відповідно до цього ДСТУ зерно пшениці відповідає усім вимогам та в повній мірі їх задовольняє.

#### 3.2 Визначення впливу тривалості відлежування пшениці на індекс лушення

Для дослідження впливу відлежування на процес лушення, потрібно дослідити початкові показники якості зернової маси та задати характеристику для абразивних дисків. Натура досліджуваних зерен пшениці становить  $756 \pm 3,07$  г/л. Маса 1000 зерен відповідно  $38,05 \pm 0,61$ г. Вологість та скловидність відповідно становить  $13,0 \pm 0,083\%$  та  $21,3 \pm 4,7\%$ . Заданими параметрами абразивних дисків є швидкість обертання абразивних дисків та їхня зернистість. Швидкість обертання абразивних дисків становить  $29,6 \pm 0,015$  с<sup>-1</sup> ( $1775 \pm 0,9$  об/хв).. Залежність індексу лушення від тривалості відлежування пшениці буде наведено за допомогою таблиці та рисунка 3.1

*Таблиця 3.1 – Залежність індекса лушення від тривалості відлежування зерна пшениці*

Тривалість відлежування пшениці, год	Індекс лушення, %
0	8,6
0,5	8,4
1	6,36
1,5	6,36
2,0	6,36
2,5	6,36
3,0	6,36

3,5	6,36
4,0	6,36

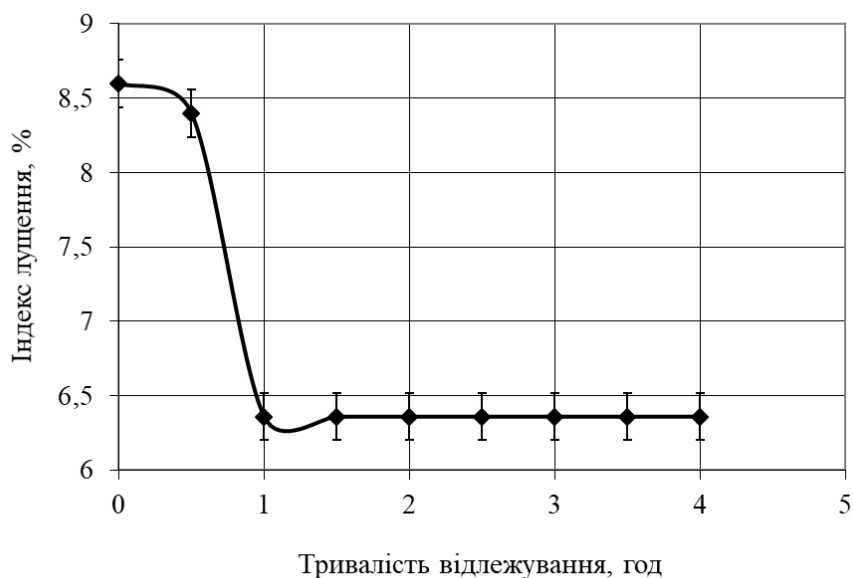


Рис. 3.1 - Залежність індекса лущення (%) від тривалості відлежування зерна пшениці (год)

### 3.3 Визначення впливу крупності зерна пшениці на індекс лущення

На наступному етапі було досліджено залежність індекса лущення від крупності зерна пшениці. Основна характеристика досліджуваної зернової маси наведена в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Вплив крупності зерна пшениці на індекс лущення

Середня ширина зерен, мм	Маса 1000 зерен, г	Індекс лущення, %	Еквівалентний розмір зерен, мм
3,2	51,38	9,2	4,14
2,9	41,86	7,54	3,92
2,7	34,07	6,48	3,81

2,5	28,79	6,03	3,61
2,3	26,38	5,65	3,29

За результатами даних досліджень було побудовано три графіки, які зображені на рисунках 3.2, 3.3 та 3.4.

На першому графіку наведено вплив маси 1000 зерен на індекс лушення.

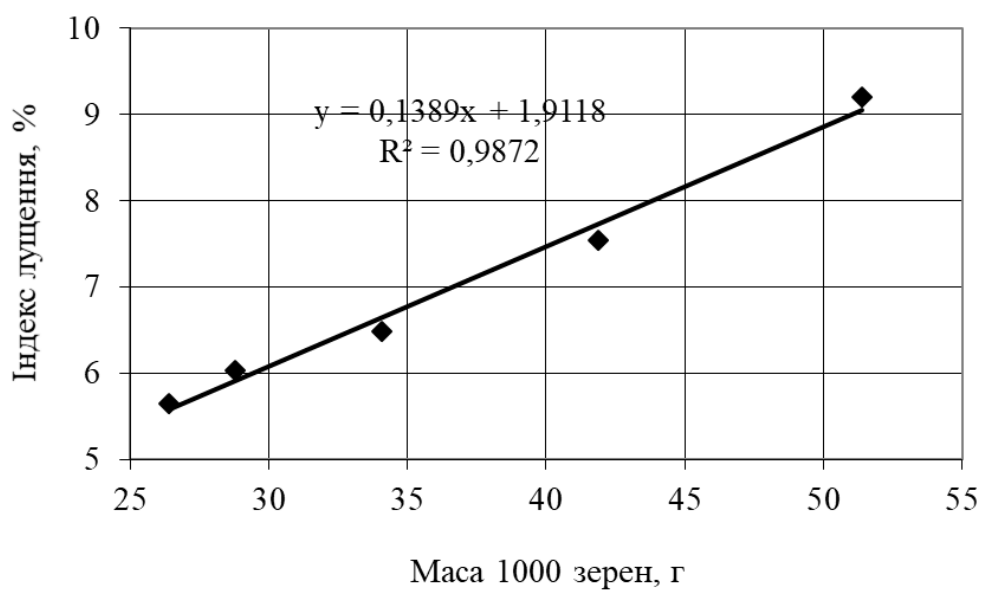


Рис. 3.2 - Залежність індекса лушення (%) від маси 1000 зерен (г)

Також в ході експериментальних досліджень було проведено повнофакторний математичний експеримент. Для оцінки точності регресійних моделей з декількома вхідними змінними використовується множинний коефіцієнт кореляції  $R^2$ . Даний множинний коефіцієнт кореляції становить 0,9872. Відношення  $R^2$  характеризує тісноту зв'язку між вихідний змінної і вхідними змінними. Область визначення відношення  $R^2$  лежить в межах від 0 до 1. При  $R^2 = 0$  вихідний чинник у лінійно не залежить від

вхідних чинників  $x_1, x_2 \dots, x_k$ - можна сказати, що кореляційний зв'язок між вихідним чинником і вхідними чинниками відсутній. При  $R^2=1$  вихідний чинник у лінійно залежить від вхідних чинників  $x_1, x_2 \dots, x_k$  - є в наявності сильний кореляційний зв'язок. Чим вище значення  $R^2$ , тим тісніше зв'язок в моделі між вихідний змінної (чинником) і вхідними змінними (чинниками), тим точніше, а отже, краще математична модель. Якщо модель має низьке значення  $R^2$ , то вона має низьку точність оцінки і прогнозу поведінки або властивостей об'єкту. Використовувати таку модель для дослідження, опису і прогнозу об'єкту не рекомендується. З декількох моделей для дослідження вибирається та, у якій відношення  $R^2$  має найбільше значення.

В процесі цього математичного моделювання була розрахована однофакторна регресійна модель  $y = 0,1389x + 1,9118$ .

На графіку рис. 3.3 наведено залежність індекса лушення від середньої ширини досліджуваних зерен пшениці.

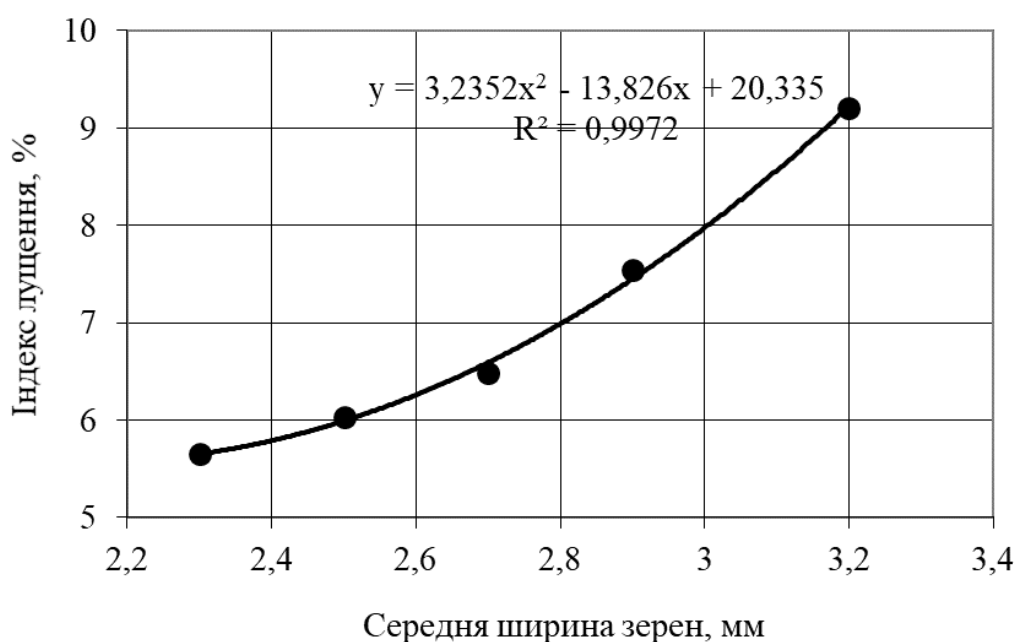


Рис. 3.3 - Залежність індекса лушення (%) від середньої ширини зерен (мм)

Для оцінки точності регресійних моделей з декількома вхідними змінними використовується множинний коефіцієнт кореляції  $R^2$ . Даний множинний коефіцієнт кореляції становить 0,9972.

В процесі цього математичного моделювання була розрахована однофакторна регресійна модель  $y = 3,2352x^2 - 13,826x + 20,335$ .

На графіку рис. 3.4 наведено залежність маси 1000 зерен від середньої ширини досліджуваних зерен пшениці.

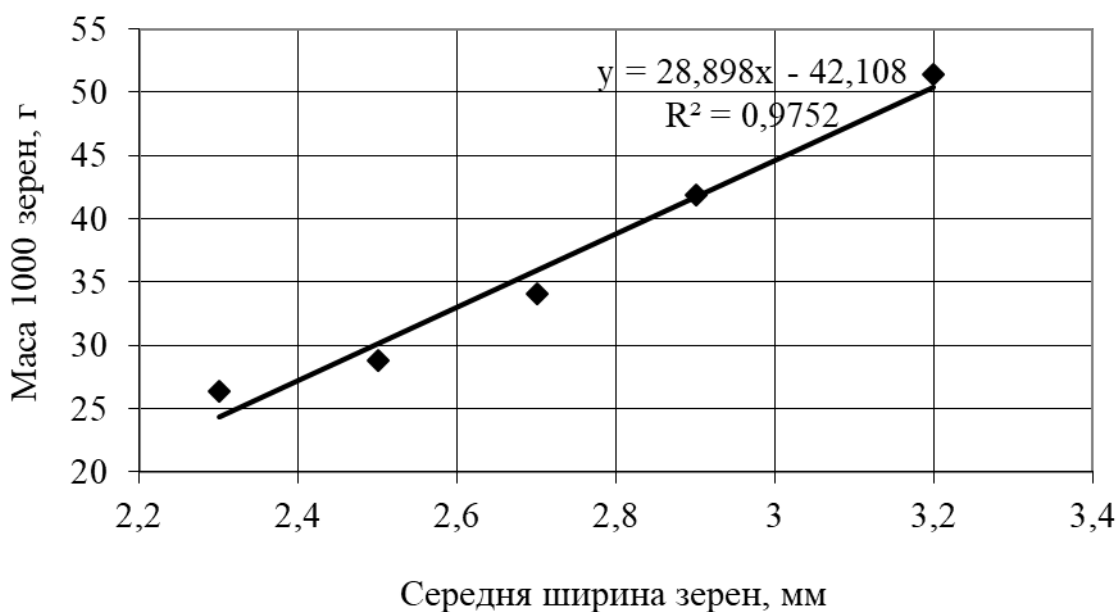


Рис. 3.4 - Залежність маси 1000 зерен (г) від середньої ширини зерен (мм)

Для оцінки точності регресійних моделей з декількома вхідними змінними використовується множинний коефіцієнт кореляції  $R^2$ . Даний множинний коефіцієнт кореляції становить 0,9752.

В процесі цього математичного моделювання була розрахована однофакторна регресійна модель  $y = 28,898x - 42,108$ .

### 3.4 Визначення зміни температури зерна пшениці в процесі лущення

При визначенні зміни температури зерна в процесі його лущення, потрібно дослідити початкові показники якості зернової маси та задати характеристику для абразивних дисків. Натура досліджуваних зерен пшениці становить  $756 \pm 3,07$  г/л. Маса 1000 зерен відповідно  $38,05 \pm 0,61$ г. Вологість та скловидність відповідно становить  $13,0 \pm 0,083\%$  та  $21,3 \pm 4,7\%$ . Заданими параметрами абразивних дисків є швидкість обертання абразивних дисків та їхня зернистість. Швидкість обертання абразивних дисків становить  $29,6 \pm 0,015$  с<sup>-1</sup> ( $1775 \pm 0,9$  об/хв). Зернистість абразивних дисків – 40.

Залежність зміни температури зерна пшениці від лущення наведено за допомогою таблиці 3.3 та рисунка 3.5.

Таблиця 3.3 –Зміна температури зерна в процесі його лущення

Тривалість лущення, с	Температура зерна, град.	Відхилення
0	20,1	$\pm 0,28$
20	25,3	$\pm 0,55$
40	26,4	$\pm 1,12$
60	28,5	$\pm 0,8$
80	29,7	$\pm 0,4$
100	30,1	$\pm 0,7$

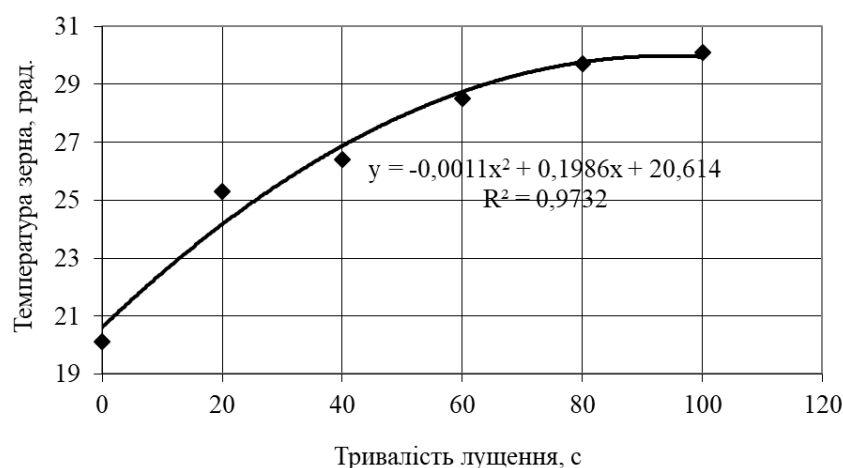


Рис. 3.5 –Зміна температури зерна від тривалості його лущення

Для оцінки точності регресійних моделей з декількома вхідними змінними використовується множинний коефіцієнт кореляції  $R^2$ . Даний множинний коефіцієнт кореляції становить 0,9732.

В процесі цього математичного моделювання була розрахована однофакторна регресійна модель  $y = -0,0011x^2 + 0,1986x + 20,614$ .

### **3.5 Визначення впливу температури зерна пшениці на ефективність його лушення**

При визначенні впливу температури зерна на ефективність його лушення, потрібно дослідити початкові показники якості зернової маси та задати характеристику для абразивних дисків. Отже, для визначення беремо наважку масою  $100 \pm 0,1$ г. Натура досліджуваних зерен пшениці становить  $753 \pm 1,87$  г/л. Маса 1000 зерен відповідно 36,9г. Вологість та скловидність відповідно становить  $12,2 \pm 0,086\%$  та  $44,4 \pm 2,2\%$ . Заданими параметрами абразивних дисків є швидкість обертання абразивних дисків та їхня зернистість. Швидкість обертання абразивних дисків становить  $29,6 \pm 0,015$  с<sup>-1</sup> ( $1775 \pm 0,9$  об/хв). Зернистість абразивних дисків – 40.

Залежність зміни температури зерна пшениці від лушення наведено за допомогою таблиці 3.4 та рисунка 3.6.

*Таблиця 3.4 – Вплив температури зерна на ефективність його лушення*

Температура зерна, град.	Індекс лушення, %
2	8,18
11,4	8,48
20,9	8,64
33,2	8,66

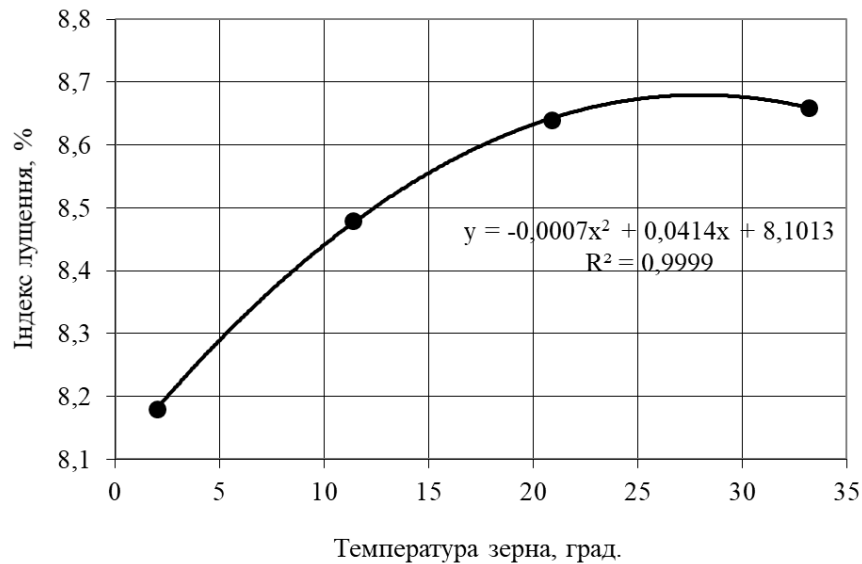


Рис. 3.6 – Вплив температури зерна на ефективність його лушення

Для оцінки точності регресійних моделей з декількома вхідними змінними використовується множинний коефіцієнт кореляції  $R^2$ . Даний множинний коефіцієнт кореляції становить 0,9999.

В процесі цього математичного моделювання була розрахована однофакторна регресійна модель  $y = -0,0007x^2 + 0,0414x + 8,1013$ .

### Висновки до розділу 3

1. Проаналізовано основні технологічні властивості зерна пшениці, які задовільняють вимоги ДСТУ 3768:2010 «Пшениця. Технічні вимоги». Натура досліджуваних зерен пшениці становить  $756 \pm 3,07$  г/л. Маса 1000 зерен відповідно  $38,05 \pm 0,61$ г. Вологість та скловидність відповідно становить  $13,0 \pm 0,083\%$  та  $21,3 \pm 4,7\%$ .

2. Встановлено, що тривалість відлежування зерна пшениці суттєво не впливає на індекс лушення зерна, найкращий індекс лушення відбувається відразу після надходження зерна на обробку. В період від 1 год до 4 год індекс лушення не змінювався і знаходився на рівні 6,36%.

## РОЗДІЛ 4

### МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

Для визначення оптимального досліджуваного зразка зерна пшениці визначаємо з допомогою математичного моделювання процесу лушення. Математичне моделювання процесу лушення проводимо за критерієм оптимальності, а саме індексом лушення досліджуваних зразків.

*Таблиця 4.1* Фізичні характеристики зразків

Номер зразка	Середня ширина зерен, мм	Маса 1000 зерен, г	Еквівалентний розмір зерен. мм
1	3,2	51,38	4,14
2	2,3	26,38	3,29
3	2,9	41,86	3,92
4	2,5	28,79	3,61
5	2,7	34,07	3,81

Результати індекса лушення наведено у таблиці 4.2.

*Таблиця 4.2.* – Індекс лушення зерна

№	$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$	$Y_{\text{сер}}$
1	9,15	9,2	9,25	9,2
2	5,7	5,65	5,6	5,65
3	7,59	7,54	7,49	7,54
4	6,13	6,03	5,93	6,03
5	6,43	6,48	6,53	6,48

#### 4.1 Дослідження трьохфакторного експерименту

В процесі планування трьохфакторного експерименту визначаємо рівні факторів та інтервали варіювання наведені в табл. 4.3.

Таблиця 4.3. - Рівні факторів та інтервали їх варіювання

Рівень	Середня ширина зерен, мм	Маса 1000 зерен, г	Еквівалентний розмір зерен. мм
Верхній	3,2	51,38	4,14
Нульовий	2,3	26,38	3,29
Середній	2,75	38,88	3,715

План багатофакторного експерименту наводимо в табл. 4.4.

Таблиця 4.4. - Матриця в натуральному вигляді

№	Середня ширина зерен, мм	Маса 1000 зерен, г	Еквівалентний розмір зерен. мм
1	3,2	51,38	4,14
2	2,3	26,38	3,29
3	2,9	41,86	3,92
4	2,5	28,79	3,61
5	2,7	34,07	3,81

Тоді в кодованому вигляді експеримент наведений в табл. 4.5.

Таблиця 4.5 - Матриця в кодованому виразі

№	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>
1	+	+	+
2	-	-	-
3	+	+	+

4	-	-	-
5	+	+	+

Таблиця 4.6. - Матриця і план експерименту

№	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	X <sub>1</sub> X <sub>3</sub>	$\frac{X_1 X_2}{X_3}$	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>3</sub>	Y <sub>c</sub>
1	+	+	+	+	+	+	+	9,15	9,2	9,25	9,2
2	-	-	-	+	+	+	-	5,7	5,65	5,6	5,65
3	+	+	+	+	+	+	+	7,59	7,54	7,49	7,54
4	-	-	-	+	+	+	-	6,13	6,03	5,93	6,03
5	+	+	+	+	+	+	+	6,43	6,48	6,53	6,48

Лінійна модель:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{23}x_2x_3 + b_{13}x_1x_3 + b_{123}x_1x_2x_3$$

Розрахування коефіцієнта регресії:

$$b_i = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N x_m * y_n \quad (4)$$

$$b_0 = \frac{9,2 + 5,65 + 7,54 + 6,03 + 6,48}{5} = 6,98$$

$$b_1 = \frac{9,2 - 5,65 + 7,54 - 6,03 + 6,48}{5} = 2,308$$

$$b_2 = \frac{9,2 - 5,65 + 7,54 - 6,03 + 6,48}{5} = 2,308$$

$$b_3 = \frac{9,2 - 5,65 + 7,54 - 6,03 + 6,48}{5} = 2,308$$

$$b_{12} = \frac{9,2 + 5,65 + 7,54 + 6,03 + 6,48}{5} = 6,98$$

$$b_{23} = \frac{9,2 + 5,65 + 7,54 + 6,03 + 6,48}{5} = 6,98$$

$$b_{13} = \frac{9,2 + 5,65 + 7,54 + 6,03 + 6,48}{5} = 6,98$$

$$b_{123} = \frac{9,2 - 5,65 + 7,54 - 6,03 + 6,48}{5} = 2,308$$

Після розрахунку коефіцієнта рівняння регресії буде мати наступний вигляд:

$$y = 6,98 + 2,308x_1 + 2,308x_2 + 2,308x_3 + 6,98x_1x_2 + 6,98x_2x_3 + 6,98x_1x_3 + 2,308x_1x_2x_3$$

Статистичний аналіз

Таблиця 4.7 – Таблиця перевірки значень

№	$y_{1u} - y_u^-$	$y_{2u} - y_u^-$	$y_{3u} - y_u^-$	$(y_{1u} - y_u^-)^2$	$(y_{2u} - y_u^-)^2$	$(y_{3u} - y_u^-)^2$	$\Sigma(y_{ku} - y_u^-)^2$	$S^2(y_{ku})$
1	-0,05	0	0,05	0,0025	3,16E-30	0,0025	0,005	0,0025
2	0,05	0	-0,05	0,0025	7,89E-31	0,0025	0,005	0,0025
3	0,05	0	-0,05	0,0025	0	0,0025	0,005	0,0025
4	0,1	0	-0,1	0,01	0	0,01	0,02	0,01
5	-0,05	0	0,05	0,0025	0	0,0025	0,005	0,0025

Із результатів таблиці 4.7 робимо висновок, що:

$$\sum_{u=1}^N S^2(y_{ku}) = 0,02$$

Тоді:

$$S_{yk}^2 = \frac{\sum_{u=1}^N S^2(y_{ku})}{N} = \frac{0,0063}{5} = 0,00126$$

$$S_y^2 = \frac{S_{yk}^2}{n} = \frac{0,00126}{3} = 0,00042$$

$$S_{bi}^2 = \frac{0,00126}{5} = 0,000252$$

$$S_{bi} = 0,01587$$

Число ступенів свободи:

$$f = (n - 1)N = (3 - 1)5 = 10$$

$$f = 10 \text{ та } \alpha = 0,95$$

Значення критерію Стьюдента  $t=2,23$ .

Значимість коефіцієнтів рівняння регресії перевіряють по наступній нерівності:

$$|b_i| > t_{0.95;10} S_{b_i} = 0,0164 \cdot 2,23 = 0,036572$$

Всі коефіцієнти з рівнем значимості 0,05 відрізняються від нуля.

Коефіцієнта рівняння регресії приймає вигляд:

$$y = 6,98 + 2,308x_1 + 2,308x_2 + 2,308x_3 + 6,98x_1x_2 + 6,98x_2x_3 + 6,98x_1x_3 + 2,308x_1x_2x_3$$

Потрібно провести перевірку адекватності рівняння регресії. Така перевірка здійснюється по F-критерію Фішера, для чого проводяться наступні розрахунки:

*Таблиця 4.8* - Відхилення середнього значення індекса сполучення, отриманого в процесі проведення експерименту та його розрахункового значення.

№	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	У <sub>сер</sub>	У <sub>р</sub>	У <sub>сер</sub> -У <sub>р</sub>	(У <sub>сер</sub> -У <sub>р</sub> ) <sup>2</sup>
1	+	+	+	1,42	1,42	-0,00292	0,000009
2	-	-	-	1,53	1,53	0,01625	0,000264
3	+	+	+	1,32	1,32	-0,00958	0,000092
4	-	-	-	1,44	1,44	-0,00292	0,000009
5	+	+	+	1,31	1,31	-0,00625	0,000039

Дисперсію адекватності розраховують за формулою:

$$S_{ag}^2 = \frac{0,00322}{8 - 7} = 0,00322$$

$$S_y^2 = 0,002625$$

$$F_p = \frac{0,0032}{0,00263} = 1,216$$

Порівняємо отримане значення критерію Фішера з його табличним значенням  $f_1 = N - N' = 8 - 7 = 1$ ;  $f_2 = (n - 1)N = (3 - 1)8 = 16$  і рівнем значимості  $\alpha = 0,05$ .

$$F_T = 4,46$$

Нерівність  $F_p < F_T$  дотримується, так як  $1,216 < 4,46$ .

Отже, робимо висновок про адекватність отриманого рівняння регресії досліджуваного процесу. Відповідно, це рівняння може бути основою для пошуку оптимальних рішень введення процесу.

#### **Висновки до розділу 4**

1. В розділі математичного моделювання було проведена оптимізація процесу лушення, тому можна говорити що крупність зерна впливає на процес лушення. Та отримане рівняння регресіє є адекватним.

## РОЗДІЛ 5 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

### 5.1 Розрахунок виходу продукції

Рекомендовані норми виходу круп і відходів при переробці м'якої пшениці наведені в таблиці 4.1 [16].

*Таблиця 5.1 – Рекомендовані норми виходу круп з м'якої пшениці*

Продукти переробки	Вихід круп, %, шліфованих і подрібнених
Крупи:	
№1	5
№2	12
№3	43
Разом круп	60
Мучка кормова	33
Відходи I і II категорій	5,3
Відходи III категорії і механічні втрати	0,7
Усушка	1
Всього	100

Фактичні показники якості зерна пшениці становлять:

- вміст смітної домішки – 1,6 %;
- вміст зернової домішки – 1,8 %;
- вологість зерна пшениці – 13,8%;
- вологість круп – 12,7 %.

1. За кожний 1% вмісту в зерні смітної домішки більше або менше базисної норми зменшується або збільшується норма сумарного виходу круп

на 0,7 % і норма виходу кормової мучки на 0,3 % за рахунок збільшення або зменшення норми виходу відходів I і II категорій [16].

Розрахунок знижок і надбавок за смітною домішкою:

$1,6 - 1,0 = 0,6 > \text{б. н.}$ , отже, розрахунок проводиться. Нараховується знижка, бо фактичний вміст більше базисних кондицій на 0,6 %.

Знижка нараховується відповідно на:

- сумарний вихід круп:  $0,6 \cdot 0,7 = 0,42$  %;
- мучка кормова:  $0,6 \cdot 0,3 = 0,18$  %.

За рахунок надбавки на:

- відходи I-II кат.:  $0,6 \cdot 1,0 = 0,6$  %.

2. За кожний 1 % вмісту зернової домішки більше або менше базисної норми зменшується або збільшується норма сумарного виходу круп на 0,15% за рахунок збільшення або зменшення норми виходу кормової мучки на 0,10% і відходів I і II категорій – на 0,05 % [16].

Розрахунок знижок і надбавок за зерновою домішкою:

$1,8 - 1,0 = 0,8 > \text{б. н.}$ , отже, розрахунок проводиться. Нараховується знижка, бо фактичний вміст зернової домішки більше базисних кондицій на 0,8 %.

Знижка нараховується відповідно на:

- сумарний вихід круп:  $0,8 \cdot 0,15 = 0,12$  %.

За рахунок надбавки на:

- мучку кормову:  $0,8 \cdot 0,10 = 0,08$  %;
- відходи I-II кат.:  $0,8 \cdot 0,05 = 0,04$  %.

3. За кожний 1 % фактичної усушки більше або менше базисної норми зменшується або збільшується норма сумарного виходу круп на 0,6 % і кормової мучки – на 0,4 % за рахунок усушки.

Фактичну усушку (Y) продуктів переробки визначають за формулою:

$$Y = \frac{100 \cdot (W_1 - W_2)}{100 - W_2} \quad (5)$$

де  $W_1$  – середньозважена вологість зерна в приймальному бункері, %;

$W_2$  – середньозважена вологість продуктів переробки, % [16].

$$Y = \frac{100 \cdot (13,8 - 12,7)}{100 - 12,7} = 1,26 \%$$

Розрахунок знижок і надбавок за усушкою:

$1,26 - 1,0 = 0,26 > \text{б. н.}$ , отже, розрахунок проводиться. Нараховується знижка, бо фактична усушка більша базисної на 0,26 %.

Знижка нараховується відповідно на:

- сумарний вихід круп:  $0,26 \cdot 0,6 = 0,156 \%$ ;
- мучку кормову:  $0,26 \cdot 0,4 = 0,104 \%$ .

За рахунок усушки на 0,26 %.

## **5.2 Наукове обґрунтування та опис технологічного процесу переробки зерна в крупи**

### **5.2.1 Наукове обґрунтування технологічного процесу виробництва круп подрібнених з м'якої пшениці**

Для отримання високоякісних крупів необхідно мати такий технологічний процес переробки зерна в крупи, який забезпечував би найбільш повне виділення усіх органічних і мінеральних домішок, проводив би такі технологічні операції, які підвищували б ефективність переробки пшениці та покращували якість готової продукції. В технологічному процесі необхідно передбачити контроль відходів. Лущення повинно забезпечувати високоефективну обробку поверхні зерна з метою найбільш повноцінного виділення оболонки, з наступним відокремленням легких домішок.

У відповідності до сформульованих задач технологічний процес повинен бути оснащений зерноочисними сепараторами з метою відбору органічних та легких домішок, каменевідбірниками, які виділяли б

мінеральні домішки. Для відбору крупних та дрібних домішок необхідно використовувати трієри.

Враховуючи значний вплив вологості на процеси переробки зерна в крупи, технологічний процес повинен бути обладнаний етапом зволоження та відлежування зерна.

Контроль відходів передбачає виділення зерна із суміші.

Лущення повинно здійснюватися на одній двох системах залежно від ефективності роботи обладнання на даній операції. Після лущення обов'язковим є виділення легких домішок із лущеного зерна.

Лущене зерно потребує шліфування на двох-трьох системах для ефективного відокремлення оболонок зерна та надання зерну кращих органолептичних властивостей.

Для отримання крупів подрібнених необхідно проводити додаткове подрібнення, для цього можна використати вальцьовий верстат. Для надання споживчих властивостей доцільно проводити полірування подрібненої крупи. Для розділення круп за номерами необхідно здійснити сортування, яке можливе у розсійнику, попередньо відокремивши легкі продукти шляхом провіювання в повітряному сепараторі. Перед подачею готової продукції в бункери є обов'язковим здійснення магнітного контролю готової продукції.

Для проведення обліку та контролю роботи заводу є обов'язковим встановлення автоматичних вагів перед подачею неочищеного зерна на очищення та автоматичних вагів на контролі готової продукції. Контроль відходів здійснюється під час вивезення відходів автомобільним транспортом, який проходить обов'язкове зважування при виїзді із підприємства.

### **5.2.2 Опис технологічної схеми виробництва крупів**

Зерно з елеватора подається на ланцюговий транспортер ТСЦ-100 (1.1), який розподіляє зерно по шести бункерах для неочищеного зерна загальною

ємністю 231,6 т. Зерно із бункерів для неочищеного зерна за допомогою двох гвинтових транспортерів Ш-160 (11.1, 11.2) та норії Н-10 (5.1) подається у скальператор ПБ-50, в якому здійснюється попереднє очищення від крупних домішок. Прохід решітного полотна  $\varnothing$  9 мм скальператора ПБ-50 направляється на зважування у ваги АД-50-3Е (3.1), схід скальператора направляється у відходи ІІІ категорії.

Зважене зерно направляється у зерновий сепаратор А1-БІС-12 (4.1). Схід сортувального та прохід підсівного полотна направляється у відходи ІІІ категорії. Прохід сортувального решітного полотна з розмірами отворів 4,0×20 мм та схід підсівного решітного полотна з розмірами отворів 2,0×20 мм направляється за допомогою норії Н-10 (5.2) у каменевідбірник РЗ-БКТ-100 (6.1). Очищене у каменевідбірнику зерно направляється у трієр-вівсюговідбірник А9-УТО-6 (7.1), в якому виділяються крупні домішки, а зерно направляється у трієрний блок ТЦ-8 (8.1). Крупні домішки подаються у бурат ЦМБ-3 (10.1) для розділення домішок на відходи І та ІІ категорії та відходи ІІІ категорії. Прохід решітного полотна  $\varnothing$  1,6 мм бурата направляється у відходи ІІІ категорії, а схід направляється у відходи І та ІІ категорії. Виділені домішки в трієрі-кукілевідбірнику А9-УТК-6 (8.1) направляються у відходи ІІІ категорії.

Очищене зерно подається у апарат інтенсивного зволоження А1-БШУ-2 (9.1). Зволене зерно розподіляється у дві ємності для відлежування тривалість якого коливається 30...60 хв. Відволене зерно за допомогою гвинтового транспортеру Ш-160 (11.3) та норії Н-10 (5.3) подається на першу луцильну систему в оббивальну машину РЗ-БГО-6 (12.1). Пролуцене зерно очищається від легких домішок в повітряному сепараторі А1-БДЗ-6 (13.1) і подається на другу луцильну систему в оббивальну машину РЗ-БГО-6 (12.2). Виділення легких домішок здійснюється в повітряному сепараторі А1-БДЗ-6 (13.2).

Легкі домішки з повітряних сепараторів А1-БДЗ-6 (13.1, 13.2) подаються за допомогою норії Н-10 (5.4) на просіювання в просіювач А1-БП-2К (21.1). Прохід решітного полотна Ø2,5мм просіювача направляється у відходи ІІІ категорії, а схід у повітряний сепаратор АСХ-5 (15.1). Легкі домішки сепаратора направляються в бункер І та ІІ категорії, а крупні частинки зерна об'єднуються з очищеним зерном, яке отримано проходом повітряного сепаратора А1-БДЗ-6 (13.2) і за допомогою норії Н-10 (5.5) направляється на першу шліфувальну систему в машини А1-ЗШН-3 (14.1, 14.2).

Продукт з першої шліфувальної системи направляється на другу шліфувальну в шліфувальні машини А1-ЗШН-3 (14.3, 14.4). З другої шліфувальної системи продукт направляється на повітряний сепаратор А1-БДЗ-6 (13.4). Очищений продукт направляється на третю шліфувальну систему в шліфувально-луцильну машину А1-ЗШН-3 (14.5, 14.6). Відокремлені в повітряному сепараторі А1-БДЗ-6 (13.4) легкі домішки за допомогою норії Н-10 (5.7) направляються на просіювання в розсійник РШХ-6-22 (18.1).

З третьої шліфувальної системи продукт направляється на подрібнення у вальцьовий верстат А1-БЗ-2Н (16.1). Після подрібнення продукт подається у полірувальні машини А1-БШМ-2,5 (17.1, 17.2). Прохід полірувальних машин А1-БШМ-2,5 (17.1, 17.2) направляється за допомогою норії Н-10 (5.8) на контрольне просіювання в розсійник РШХ-6-22 (18.4). Схід полірувальних машин А1-БШМ (17.1, 17.2) направляється за допомогою норії Н-10 (5.9) на провіювання в повітряний сепаратор А1-БДЗ-6 (13.5) та на контроль крупни в розсійник РШХ-6-22 (18.2, 18.3). Легкі продукти виділені в повітряному сепараторі А1-БДЗ-6 (13.5) направляються на просіювання в розсійник А1-БРУ (18.4).

Мучка, яку отримано сходом розсійників РШХ-6-22 (18.1, 18.4) направляється разом із проходом розсійників А1-БРУ (18.2, 18.3) за

допомогою норії Н-10 (5.13) на зважування у автоматичні ваги АД-50-МЕ (23.4) та в бункер готової продукції №4.

Першим сходом розсійників РШХ-6-22 (18.2, 18.3) одержується крупа №1, яка направляєється за допомогою норії Н-10 (5.12) на зважування у автоматичні ваги АД-50-МЕ (23.3), після чого в бункер готової продукції №3. Другим сходом розсійників РШХ-6-22 (18.2, 18.3) одержується крупа №2, яка направляєється за допомогою норії Н-10 (5.11) на зважування у автоматичні ваги АД-50-МЕ (23.2), після чого в бункер готової продукції №2. Третім сходом розсійників РШХ-6-22 (18.2, 18.3) одержується крупа №3, яка направляєється за допомогою норії Н-10 (5.10) на зважування у автоматичні ваги АД-50-МЕ (23.1), після чого в бункер готової продукції №1.

Перед оббивальними машинами РЗ-БГО-6 (12.1, 12.2), шліфувальними машинами А1-ЗШН-3 (14.1, 14.6), вальцьовим верстатом А1-БЗ-2Н (16.1), полірувальними машинами А1-БШМ-2,5 (17.1, 17.2) та на контролі готової продукції передбачено магнітні колонки У1-БМП.

Аспіраційні відноси, які утворюються в шліфувальних машинах А1-ЗШН-3 (14.1-14.6) та осаджуються у фільтрі-циклоні РЦЕ (19.3) направляються на контрольне просіювання мучки в розсійник А1-БРУ (18.1).

### **5.3 Розрахунок обладнання**

#### **5.3.1 Розрахунок місткості бункерів для неочищеного зерна**

Місткість бункерів для неочищеного зерна розраховують на 36...48 год. продуктивності зерноочисного відділення. Під час розрахунку бункерів для відволожування зерна враховують продуктивність зерноочисного відділення, метод підготовки зерна до помелу (послідовний або паралельний).

Місткість бункерів, м<sup>3</sup>, розраховують за формулою:

$$E = \frac{Q_{з.с.} \cdot t}{24 \cdot j \cdot p} \quad (6)$$

де,  $Q_{з.в.}$  – розрахункова продуктивність зерноочисного відділення, т/добу;

$t$  – тривалість роботи лушильного відділення (зазвичай 24...30 год), год;

$j$  – об'ємна маса (натура) зерна, т/м<sup>2</sup> ( $j = 0,75$  т/м<sup>3</sup>);  $p$  – коефіцієнт використання місткості ( $p = 0,86...0,90$ ).

Необхідну кількість бункерів, шт., розраховують за формулою:

$$n = \frac{E}{a \cdot b \cdot h} \quad (7)$$

де,  $E$  – місткість засіків, м<sup>3</sup>;

$n$  – кількість засіків, шт.;

$a, b, h$  – довжина, ширина і висота одного засіку, м.

Як правило, бункери для неочищеного зерна та відволожування виготовляють із збірного залізобетону. Для неочищеного зерна використовують бункери розміром 3,0×3,0 м, для відволожування зерна – відповідно 1,5×1,5 м. За висотою бункери можуть займати 2...3 поверхи, при висоті поверху 4,8 м.

Фактичну місткість бункерів  $E_{\phi}$ , т, розраховують за формулою:

$$E_{\phi} = n \cdot V_{\phi} \cdot j \cdot p \quad (8)$$

де,  $n$  – кількість бункерів, шт.;

$V_{\phi}$  – місткість одного бункера, м<sup>3</sup>;

$j$  – натура зерна, т/м<sup>3</sup>;

$p$  – коефіцієнт використання місткості бункерів.

Розрахункова ємність бункерів для неочищеного зерна буде становити:

$$E = \frac{168 \cdot 32}{240 \cdot 75 \cdot 0,9} = 331,8 \text{ м}^3$$

Розрахункова кількість бункерів буде становити:

$$n = \frac{331,8}{2,3 \cdot 2,3 \cdot 10,81} = 5,8 \approx 6 \text{ бункерів}$$

Фактична ємність бункерів становитиме:

$$E_{\phi} = 6 \times (2,3 \times 2,3 \times 10,81) \times 0,75 \times 0,9 = 231,6 \text{ т}$$

### 5.3.2 Розрахунок технологічного обладнання зерноочисного відділення

Розрахункова продуктивність зерноочисного відділення, т/добу, з урахуванням 10...20 % запасу продуктивності визначається за формулою:

$$Q_{з.в.} = (1,1 \dots 1,2) Q_{р.в.} \quad (9)$$

де,  $Q_{р.в.}$  – продуктивність розмелювального відділення, т/добу.

Розрахункова продуктивність буде становити:

$$Q_{з.в.} = 1,2 \cdot 140 = 168 \text{ т/добу}$$

Кількість автоматичних вагів  $n_{в}$ , шт., розраховують за формулою:

$$n_{в} = \frac{Q_{з.в.} \cdot 1000 \cdot C_{\phi}}{100 \cdot 24 \cdot V \cdot n_{вз}} \quad (10)$$

де,  $n_{в}$  – кількість автоматичних вагів, шт.;

$C_{\phi}$  – кількість продукту, яке надходить на зважування, %;

$V$  – ємність ковша вагів, (100, 50, 20) кг;

$n_{вз}$  – кількість зважувань за годину.

При ємності ковша вагів до 50 кг число зважувань в час до 180; при ємності ковша вагів 100 кг – не більше 120 зважувань за годину.

Кількість автоматичних вагів буде становити:

$$n_{в} = \frac{1680 \cdot 1000 \cdot 100}{100 \cdot 24 \cdot 50 \cdot 150} = \frac{16800000}{18000000} \approx 1 \text{ шт.}$$

Розрахунок кількості зерноочисних машин проводять за формулою:

$$n = \frac{Q_{з.в.}}{q_{м}} \quad (11)$$

де,  $Q_{з.в.}$  – продуктивність зерноочисного відділення, т/год.;

$q_{м}$  – продуктивність машини, т/год.

Відповідно до технологічної схеми кількість зерноочисних сепараторів А1-БІС-12, які мають продуктивність 12 т/год., буде становити:

$$n = \frac{6}{12} = 0,5 \approx 1 \text{ шт.}$$

Кількість каменевідбірників РЗ-БКТ-100, які мають продуктивність 9 т/год., буде становити:

$$n = \frac{6}{9} = 0,66 \approx 1 \text{ шт.}$$

Кількість трієрних блоків ТЦ-8, які мають продуктивність 6 т/год., буде становити:

$$n = \frac{6}{6} = 1 \text{ шт.}$$

Кількість апаратів інтенсивного зволоження А1-БШУ-2, які мають продуктивність 6 т/год., буде становити:

$$n = \frac{6}{6} = 1 \text{ шт.}$$

Кількість оббивальних машин 1-ї луцильної системи РЗ-БГО-6, які мають продуктивність 6 т/год., буде становити:

$$n = \frac{6}{6} = 1 \text{ шт.}$$

Кількість повітряних сепараторів А1-БДЗ-6 першого проходу, які мають продуктивність 6 т/год., буде становити:

$$n = \frac{6}{6} = 1$$

Кількість оббивальних машин 2-ї луцильної системи РЗ-БГО-6, які мають продуктивність 6 т/год., буде становити:

$$n = \frac{6}{6} = 1 \text{ шт.}$$

Кількість повітряних сепараторів А1-БДЗ-6 другого проходу, які мають продуктивність 6 т/год., буде становити:

$$n = \frac{6}{6} = 1$$

Базисна норма виходу відходів при переробці пшениці в крупи становить 5,3 %, тоді кількість просіювачів барабанного типу на контролі відходів можна визначити за формулою:

$$n = \frac{Q_{з.в.} \cdot a_б}{100 \cdot q_m} \quad (12)$$

де,  $Q_{з.в.}$  – продуктивність зерноочисного відділення, т/год.;

$a_б$  – навантаження на систему за балансом, %;

$q_m$  – продуктивність машини, т/год.

Кількість повітряних сепараторів АСХ-5, які мають продуктивність 5 т/год., буде становити:

$$n = \frac{6,5,3}{100 \cdot 5} \approx 1$$

### 5.3.3 Розрахунок кількості технологічного обладнання луцильного відділення

Кількість луцильних машин безперервної дії А1-ЗШН можна визначити за формулою:

$$n = \frac{Q_{л.в.}}{q_m} \quad (13)$$

де,  $Q_{л.в.}$  – продуктивність луцильного відділення, т/год.;

$q_m$  – продуктивність машини, т/год [18].

Кількість шліфувальних машин А1-ЗШН першого проходу, які мають продуктивність 3 т/год., буде становити:

$$n = \frac{5}{3} = 1,66 \approx 2 \text{ шт.}$$

Відповідно до технологічної схеми процесу переробки м'якої пшениці в крупи шліфовані та подрібнені прохід першої шліфувальної системи одразу направляється на другу шліфувальну систему, тому кількість шліфувальних машин А1-ЗШН другого проходу буде становити:

$$n = \frac{5}{3} = 1,66 \approx 2 \text{ шт.}$$

Весь потік зерна, який послідовно пройшов через першу та другу шліфувальні системи направляється на провіювання у повітряний сепаратор А1-БДЗ-6 першого проходу, продуктивність якого становить 6 т/год., тоді їх кількість буде становити:

$$n = \frac{5}{6} = 0,83 \approx 1 \text{ шт.}$$

Очищений в повітряному сепараторі зернопродукт направляється на третю шліфувальну систему, яка обслуговується машина А1-ЗШН із продуктивністю 3 т/год., тоді їх кількість становить:

$$n = \frac{5}{3} = 1,66 \approx 2 \text{ шт.}$$

Прошліфована крупа направляється у вальцьовий верстат А1-БЗ-2Н, технічна продуктивність якого становить 7 т/год., тоді кількість вальцьових верстатів буде становити:

$$n = \frac{5}{7} = 0,71 \approx 1 \text{ шт.}$$

Кількість полірувальних машин А1-БШМ-2,5 із продуктивністю 2,5 т/год. буде становити:

$$n = \frac{5}{2,5} = 2 \text{ шт.}$$

Кількість повітряних сепараторів А1-БДЗ-6 другого проходу, які мають продуктивність 6 т/год. буде становити:

$$n = \frac{5}{6} = 0,83 \approx 1 \text{ шт.}$$

Загальна просіювальна поверхня розсійників розраховується за формулою:

$$F = \frac{1000 \cdot Q_{л.в.}}{q_n} \quad (14)$$

де,  $Q_{л.в.}$  – продуктивність луцильного відділення, т/добу;

$q_n$  – питома навантаження на 1 м<sup>2</sup> просіюючої поверхні, кг/добу.

Тоді загальна просіююча поверхня буде становити:

$$F = \frac{1000 \cdot 120}{1000} = 120 \text{ м}^2$$

Площу просіювальної поверхні, м<sup>2</sup>, розраховують за формулою:

$$f = \frac{F \cdot f_n}{100} \quad (15)$$

де, F – загальна площа просіювання, м<sup>2</sup>;

f<sub>n</sub> – просіювальна поверхня етапу технологічного процесу, %.

Відповідно до питомих навантажень на просіюючу поверхню регламентованих «Правилами...» для контролю крупки відводиться 30 %, контролю лузги і мучки 10 %, тому

$$f_k = \frac{120 \cdot 30}{100} = 36 \text{ м}^2$$

$$f_l = \frac{120 \cdot 10}{100} = 12 \text{ м}^2$$

Загальна розрахункова просіювальна поверхня буде становити:

$$f = f_k + f_l = 36 + 12 = 48 \text{ м}^2$$

Площа просіюючої поверхні одного розсійника РШХ-6-22 становить 32,45 м<sup>2</sup>, тоді розрахункова кількість розсійників становитиме:

$$n = \frac{48}{32,45} = 1,47 \approx 2 \text{ розсійники}$$

Загальна кількість секцій розсійників РШХ-6-22 буде становити:

$$n_c = 2 \cdot 6 = 12 \text{ секцій.}$$

*Таблиця 5.2 – Специфікація основного технологічного обладнання*

№ п/п	Найменування та марка обладнання	Продуктивність, т/год	Кількість, шт.
1	Ваги автоматичні АД-50-3Е		5
2	Скальператор ПБ-50	50	1
2	Сепаратор зерноочисний А1-БІС-12	12	1
3	Каменевідбірник РЗ-БКТ-100	9	1
4	Трієрний блок ТЦ-8	6	1
5	Апарат інтенсивного зволоження А1-	6	1

	БШУ-2		
6	Бурат ЦМБ-3	3	1

7	Оббивальна машина РЗ-БГО-6	6	2
8	Повітряний сепаратор А1-БДЗ-6	5	6
9	Повітряний сепаратор АСХ-5	5	1
10	Луцильно-шліфувальна машина А1-ЗШН-3	3	6
11	Вальцьовий верстат А1-БЗ-2Н	7	1
12	Полірувальна машина А1-БШМ-2,5	2,5	2
13	Розсійник РШХ-6-22	–	2
14	Ваги автоматичні АД-50-МЕ	–	4
15	Магнітна колонка У1-БМП	11	15

### Висновки до розділу 5

1.В технологічні частині розділу було проведено розрахунок виходу круп пшеничних та підібране технологічне обладнання круп'яного заводу продуктивністю 140т/добу

2.Також були розроблені креслення для будівництва даного заводу в місті Шепетівка.

## РОЗДІЛ 6

### СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ

#### 6.1 Розрахунок виробничої програми підприємства

Розрахунок програми підприємства проводимо на основі головного асортименту продукції та по діючим оптовим цінам тони сировини, розраховані у певному співвідношенні. Коефіцієнт використання потужності становить 0,8. Для розрахунку виробничої програми спочатку необхідно визначити число днів роботи підприємства.

*Таблиця 6.1 - Розрахунок числа днів роботи за рік*

Обладнання за закріпленим асортиментом	Календарний фонд часу	Зупинки з причини			Всього зупинок	Кількість календарних днів
		Вихідні і святкові дні	Ремонт обладнання			
			Поточний	Капітальний		
Луцильна машина А1-ЗШН	365	8	22	30	60	305
Трієр	365	8	22	30	60	305
Сушарка	365	8	22	30	60	305

*Таблиця 6.2 - Розрахунок річного обсягу переробки сировини*

Найменування продукції	Добова потужність, т	Коефіцієнт використання потужності	Фактичний добовий обсяг виробництва, т	Річний обсяг виробленої продукції, т
Продукція	120	0,8	96	29 280

Добова потужність визначається по провідному обладнанню, вибір якого обґрунтовується у технологічній частині дипломного проекту і розраховується за формулою:

$$P_{\text{доб}} = P_z * T_{\text{змін}} * K_{\text{зміни}} \quad (16)$$

де  $P_z$  - годинна потужність провідного обладнання;

$T_{\text{змін}}$  - тривалість зміни;

$K_{\text{зміни}}$  - кількість змін на добу.

$$P_{\text{доб}} = 5 * 12 * 2 = 120 \text{ т/добу}$$

Таблиця 6.3 - Розрахунок виробничої програми у вартісному виразі.

Найменування продукції	Річний обсяг виробленої продукції	Відпускна ціна підприємства (без ПДВ), грн./т	Вартість річного обсягу виробництва, грн.
Зерно	29 280	3000	8 784 000

Для визначення показників економічної ефективності виробництва та реалізації продукції далі буде розрахована виробнича собівартість одиниці продукції, повні витрати на виробництво одиниці продукції, також планується величина очікуваного прибутку, виходячи із встановленої ціни. Сума всіх перерахованих статей витрат, за вирахуванням зворотніх відходів, буде становити повні витрати на виробництво продукції.

Визначивши повні витрати на одиницю продукції, розраховується ціна продукції, рентабельність, витрати на 1 грн.

Відпускна ціна продукції підприємства включає: виробничу собівартість, визначені адміністративні витрати, витрати на збут, норму прибутку.

$$Ц = ВС + Ва + Vz + П + ПДВ \quad (17)$$

де:

Ц – ціна;

BC – виробнича собівартість продукції;

Ba – адміністративні витрати;

Bз – витрати на збут;

П – сума прибутку;

ПДВ – сума податку на додану вартість.

Сума прибутку визначають за формулою

$$\Pi = \frac{P * (BC + Ba + Bз)}{100} \quad (18)$$

де Р – рівень рентабельності, що планується підприємством (або встановлено законодавчо).

### **Висновки до розділу 6**

1. Виходячи з даних розрахунків соціально-економічної ефективності роботи чистий прибуток становить 8 784 000 грн., а термін окупності складає 5 місяців, це свідчить про доцільність впровадження запропонованої технологічної схеми виробництва.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Проаналізовано основні технологічні властивості зерна пшениці, які задовільняють вимоги ДСТУ 3768:2010 «Пшениця. Технічні вимоги». Натура досліджуваних зерен пшениці становить  $756 \pm 3,07$  г/л. Маса 1000 зерен відповідно  $38,05 \pm 0,61$ г. Вологість та скловидність відповідно становить  $13,0 \pm 0,083\%$  та  $21,3 \pm 4,7\%$ .

2. Встановлено, що тривалість відлежування зерна пшениці суттєво не впливає на індекс лушення зерна, найкращий індекс лушення відбувається відразу після надходження зерна на обробку. В період від 1 год до 4 год індекс лушення не змінювався і знаходився на рівні  $6,36\%$ .

3. Встановлена залежність крупності зерна на індекс лушення зерна пшениці, чим крупніше зерно досліджуваної пшениці тим індекс лушення буде більший. Крупність зерна визначалась за такими параметрами, як середня ширина зерен, маса 1000 зерен та еквівалентний розмір тих самих зерен. Вивчено вплив маси 1000 зерен на індекс лушення, проведено повнофакторний математичний експеримент. Для оцінки точності регресійних моделей з декількома вхідними змінними використовувався множинний коефіцієнт кореляції  $R^2$ . Даний множинний коефіцієнт кореляції становить  $0,9872$ . В процесі цього математичного моделювання була отримана однофакторна регресійна модель  $y = 0,1389x + 1,9118$ .

Вивчено вплив середньої ширини зерен на індекс лушення, для оцінки точності регресійних моделей з декількома вхідними змінними використовувався множинний коефіцієнт кореляції  $R^2$ . Даний множинний коефіцієнт кореляції становить  $0,9972$ . В процесі цього математичного моделювання була отримана однофакторна регресійна модель  $y = 3,2352x^2 - 13,826x + 20,335$ .

Визначено залежність середньої ширини зерен від маси 1000 зерен, для оцінки точності регресійних моделей з декількома вхідними змінними

використовувався множинний коефіцієнт кореляції  $R^2$ . Даний множинний коефіцієнт кореляції становить 0,9752. В процесі цього математичного моделювання була отримана однофакторна регресійна модель  $y = 28,898x - 42,108$ .

Після проведення математичного моделювання встановлено, що найбільша залежність вхідних і вихідних факторів спостерігалася для середньої ширини зерен.

4. Проаналізовано зміну температури зерна пшениці в процесі його лущення. Встановлено, що чим довше відбувається процес лущення тим більша його температура. Для оцінки точності регресійних моделей з декількома вхідними змінними використовувався множинний коефіцієнт кореляції  $R^2$ . Даний множинний коефіцієнт кореляції становить 0,9732. В процесі цього математичного моделювання була отримана однофакторна регресійна модель  $y = -0,0011x^2 + 0,1986x + 20,614$ .

Встановлено залежність температури зерна пшениці від індекса лущення чи більша температура зерна пшениці тим буде більший індекс його лущення. Для оцінки точності регресійних моделей з декількома вхідними змінними використовувався множинний коефіцієнт кореляції  $R^2$ . Даний множинний коефіцієнт кореляції становить 0,9999. В процесі цього математичного моделювання була отримана однофакторна регресійна модель  $y = -0,0007x^2 + 0,0414x + 8,1013$ .

Після проведення математичного моделювання визначено, що найбільша залежність вхідних і вихідних факторів спостерігається при вищій температурі зерна пшениці.

5. На основі результатів проведених досліджень удосконалили технологічну схему.

6. Розраховано економічну ефективність впровадження запропонованої технологічної схеми виробництва, що збільшить конкурентність на ринку, підвищить інвестиційну привабливість цієї галузі. Виходячи з даних

розрахунків соціально-економічної ефективності роботи чистий прибуток становить 8 784 000 тис. грн., це свідчить про доцільність впровадження запропонованої технологічної схеми виробництва.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Верещинский А.П. Шелушение пшеницы в технологии сортовых помолов // Хранение и переработка зерна, 2008, №9. — С. 52-55
2. Вплив лущення зерна пшениці на процес крупоутворення URL:<http://hipzmag.com/tehnologii/pererabotka/vpliv-lushhennya-zerna-pshenitsi-na-protses-krupoutvorennya>
3. Гиршсон В.Я. Экспериментальные исследования процессов технологии зерна [Текст] /В.Я. Гиршсон– М.: Заготиздат, 1949. – 259 с.
4. ГОСТ 30483-97 «Зерно. Методы определения общего и фракционного содержания сорной и зерновой примесей; содержания мелких зерен и крупности; содержания зерен пшеницы, поврежденных клопом-черепашкой; содержания металломагнитной примеси».
5. ДСТУ 3768:2019 Пшениця. Технічні умови/ Державний стандарт України, 2019
6. Жигунов Д.О. Вплив лущення зерна пшениці на процес крупоутворення/ Жигунов Д.О., Ковальов М.О./ ОНАХТ, Одеса 2018.
7. Киселева А.В. К вопросу отделения оболочек зерна перед его измельчением [Текст] / А.В. Киселева, И.Е. Борисенко // Вестник технической и экономической информации. – М.: ЦНИТИ Госкомзага СССР. – 1963.- №3. – С. 31-33.
8. Класифікація пшениці URL:<https://www.yara.ua/crop-nutrition/wheat/key-facts/wheat-categorization/>
9. Класифікація якості зерна пшениці URL:<https://ambarexport.ua/blog/wheat-grain-quality-classification>
10. Куприц Я.Н. Физико-химические свойства зерна [Текст] / Я.Н. Куприц – М.: Заготиздат, 1946. – С. 27-47
11. Лущення пшениці у технології сортового помелу URL:[https://www.olis.com.ua/ukr/press-centre/article10\\_ua/](https://www.olis.com.ua/ukr/press-centre/article10_ua/)

12. Любарский Л.Н. Отчет о научно-исследовательской работе МТИПП: Разработка оптимальных условий для отделения оболочек у ржи гидротермическим методом до размола [Текст] /Л.Н. Любарский –М., 1948. – 75 с
13. Мерко И.Т. Технология мукомольного и крупяного производства. — М.: «Агропромиздат», 1985. — 506 с.].
14. Obuchowski W. The effect of grain cleaning and milling in some Polish mills on the level of grain and flour microbial contamination [Electronic resource] / W. Obuchowski, K. Strybe // Electronic Journal of Polish Agricultural Universities, Food Science and Technology, Volume 4, Issue 1, 2001: Proceedings. – Mode of access:
15. Правила організації і ведення технологічного процесу на борошномельних заводах. — К.: «Віпол», 1998. — 145 с.
16. Правила організації і ведення технологічного процесу на круп'яних заводах. – Київ. 1998.
17. Фридрих Р.Снижение содержания вредных веществ в процессе зерноочистки [Текст] / Р. Фридрих //Хлебопродукты. - 2002. - №7 – С. 16-18.

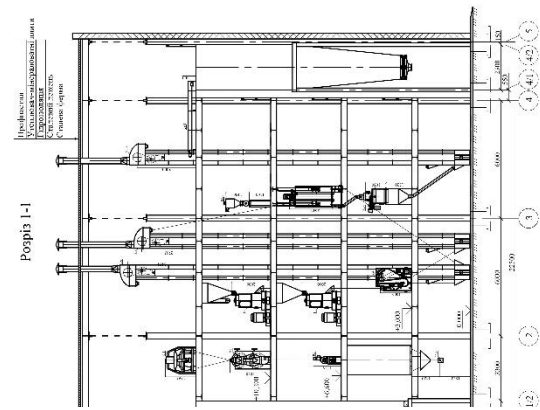
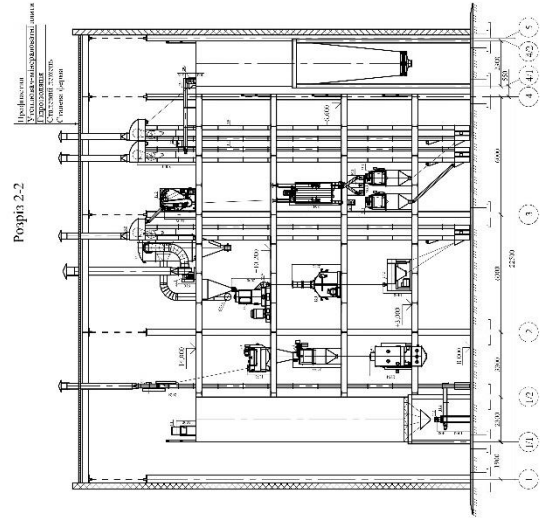
# ДОДАТКИ

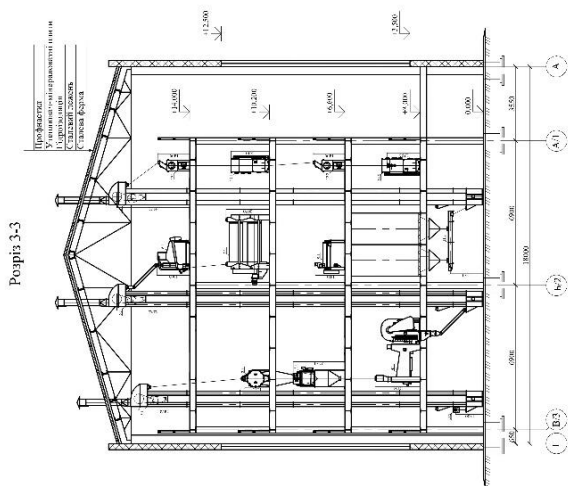
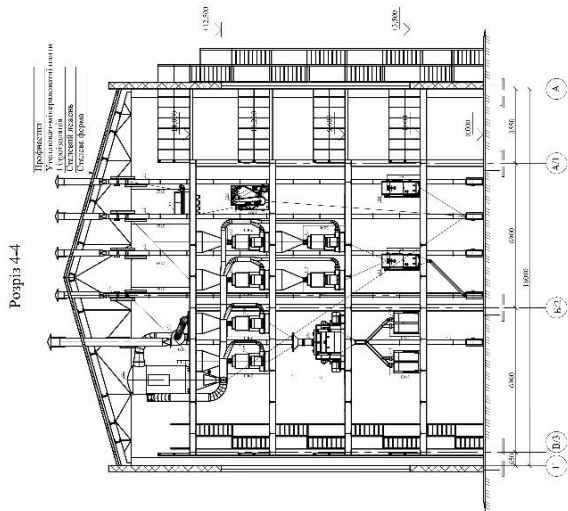
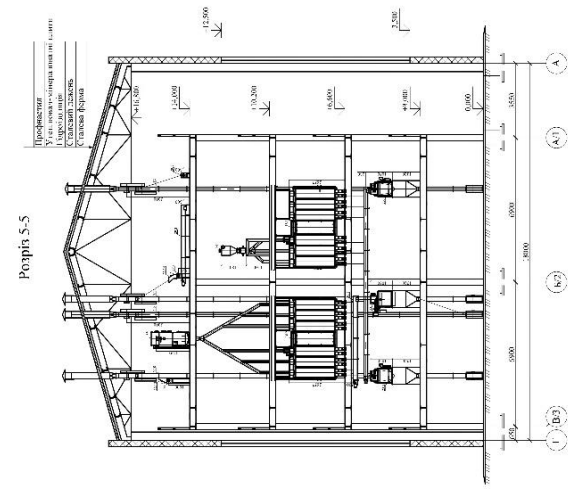






# Додаток Г Розріз 1-1 та 2-2





### 1. Вплив крупності пшениці на ефективність її лушення

Аліна Ткаченко, Євген Харченко

Національний університет харчових технологій, м. Київ, Україна

**Вступ.** Процес лушення в машинах з абразивними робочими органами незважаючи на широке використання залишається мало дослідженим, що ускладнює його моделювання і розуміння технологічних процесів переробки зерна [2]. Розуміння залежностей, які відбуваються під час лушення дає можливість керувати технологічним процесом переробки зерна, проводити розрахунок матеріальних потоків та прогнозувати результати роботи виробництва. Ряд дослідників вказують на вплив крупності зерна пшениці при її лушенні, але сама ця залежність залишається невідомою [1, 3]. Метою даної роботи є встановлення залежності ефективності лушення пшениці від крупності зерна.

**Матеріали і методи.** Крупність зерна пшениці оцінювали за допомогою показника маси 1000 зерен, а ефективність лушення за допомогою індекса лушення. Підготовлену пшеницю розділяли на решітних полотнах із розмірами отворів: 2,2×20 мм, 2,4×20 мм, 2,6×20 мм, 2,8×20 мм, 3,0×20 мм, 3,4×20 мм. В кожній фракції пшениці визначали масу 1000 зерен, після чого лушили у лабораторному лушильнику УЛЗ-1. Лушене ядро пшениці пропускали через аспіраційний канал із шириною каналу 60 мм з метою відокремлення мучки та лузги, після чого зважували і розраховували індекс лушення.

Під час проведення лушення, швидкість обертання абразивних дисків становила  $29,6 \pm 0,015 \text{ с}^{-1}$  ( $1775 \pm 0,9 \text{ об/хв}$ ). Зернистість абразивних дисків становила 40 од. Тривалість лушення пшениці становила 40 с. Маса наважки для лушення для усіх фракцій пшениці приймалася 100 г.

**Результати.** Дослідженнями впливу крупності зерна пшениці при незмінній вологості зерна встановлено, що індекс лушення змінюється за лінійною залежністю від крупності зерна пшениці. І описується рівнянням:

$$I_x = 0,138 \cdot m_{1000} + 1,912 \quad (1)$$

де  $m_{1000}$  – маса 1000 зерен пшениці, %;  $I_x$  – індекс лушення, %.

Коефіцієнт кореляції становив 0,99, що свідчить про сильний зв'язок досліджуваних ознак процесу лушення пшениці. Стандартне відхилення становило 0,161.

**Висновки.** Дослідженнями встановлено, що крупність зерна пшениці лінійно впливає на індекс лушення в лушильних машинах із абразивними робочими органами. Зі збільшенням крупності зерна пшениці, індекс лушення збільшується.

#### Література

- George, E., Rentsen, B., Tabil, L.G., Meda, V. (2014). Optimization of wheat debranning using laboratory equipment for ethanol production. *Int. Journal Agric. & Biol. Eng.*, 7(6), 54–66.
- Kharchenko Y., Sharan A., Chomyi V., Yermeeva O. (2018) Effect of technological properties of pea seeds and processing modes on efficiency of its dehulling. *Ukrainian Food Journal*, 7(4), 2018. – p. 589-604.
- Reichert, R.D., Tyler, R.T., et. al. (1986). Description of a production model of the Tangential abrasive dehulling device and its application to breeders samples. *Cereal Chemistry*, 63(3), 201–207.