

**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)

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

«До захисту допущено»

В. о. завідувача кафедри

\_\_\_\_\_ Янюк Т.І.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**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 процесу плющення на крупоутворення І драної системи»

Виконав: здобувач 2 курсу, групи б

\_\_\_\_\_ Плющай А.С.

(прізвище та ініціали)

Керівник Харченко Є.І.

(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**

Плющай Аліні Сергіївні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи « Дослідження впливу процесу плющення на крупоутворення І драної системи »

керівник роботи Харченко Євгеній Іванович, доцент, к. т. н.

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

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

2. Строк подання здобувачем роботи 11.02.2021

3. Вихідні дані до роботи \_\_\_\_\_

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ, аналітичний огляд літератури, об'єкти і методи досліджень, експериментальна частина, технологічна частина, соціально-економічна ефективність роботи, загальні висновки

5. Перелік графічного матеріалу \_\_\_\_\_



## АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота на тему « Дослідження впливу процесу плющення на крупоутворення I драної системи » присвячена дослідженню ефективності процесу плющення і його впливу на I драну систему.

У вступі висвітлено актуальність теми, встановлено мету роботи та завдання, які підлягають дослідженню та вирішенню. Наведено наукову новизну та практичне значення отриманих даних, особистий внесок магістранта та структуру роботи.

В першому розділі розкрито аналітичний огляд літератури щодо питання плющення зерна в борошномельному виробництві. Висвітлено проблеми, які потребують подальшого дослідження.

В другому розділі наведено об'єкт і предмет досліджень. Наведено опис методик досліджень і математичного опрацювання отриманих результатів досліджень.

В третьому розділі висвітлено результати дослідження плющення зерна пшениці та подрібнення його у вальцьовому верстаті I драної системи. За результатами досліджень рекомендовано величину зазору між вальцями на плющильному верстаті 1,4 мм. За цієї величини вихід борошнистих продуктів після плющильного верстату не перевищує 4,0 %. Показано, що відбір борошнистих продуктів перед I драною системою не створює суттєвого впливу на загальний добуток проміжних продуктів подрібнення після I драної системи.

В четвертому розділі наведено наукове обґрунтування та опис технологічного процесу, зроблений розрахунок технологічного обладнання, спроектовано кількісно-якісний баланс помелу.

В п'ятому розділі наведено соціальну ефективність роботи та зроблений розрахунок економічної ефективності роботи.

**Ключові слова:** пшениця, плющення, подрібнення, крупки, дунсти

## ANNOTATION

Qualification work on "Study of the impact of the flattening process on the formation of the first torn system" is devoted to the study of the effectiveness of the flattening process and its impact on the first torn system.

The introduction highlights the relevance of the topic, sets the purpose of the work and the tasks to be researched and solved. The scientific novelty and practical significance of the obtained data, the personal contribution of the undergraduate and the structure of work are given.

The first section reveals an analytical review of the literature on the issue of grain flattening in flour production. The problems that need further research are highlighted.

The second section presents the object and subject of research. A description of research methods and mathematical processing of the obtained research results is given.

The third section highlights the results of the study of wheat grain flattening and grinding it in a roller machine and shredded system. According to the research results, the recommended size of the gap between the rollers on the flattening machine is 1.4 mm. At this value, the yield of flour products after the flattening machine does not exceed 4.0%. It is shown that the selection of flour products before the I shredded system does not have a significant effect on the total yield of intermediate products of grinding after the I shredded system.

In the fourth section the scientific substantiation and the description of technological process are given, the calculation of the technological equipment is made, the quantitative and qualitative balance of grinding is designed.

The fifth section presents the social efficiency of work and calculates the economic efficiency of work.

Key words: wheat, flattening, crushing, groats, duns

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ТА ЕЛЕКТРОННИХ РЕСУРСІВ .....	12
1.1. Розвиток процесів попереднього руйнування зерна.....	12
1.2. Теоретичні основи попереднього руйнування зерна перед помелом ...	14
1.3. Способи попереднього руйнування зерна пшениці .....	15
1.4. Вплив плющення зерна пшениці та жита на процеси помелу зерна в борошно.....	17
1.5. Висновки до розділу 1 .....	19
РОЗДІЛ 2. ОБ'ЄКТИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ПЛЮЩЕННЯ ТА ПОДРІБНЕННЯ ПШЕНИЦІ.....	20
2.1. Об'єкт та предмет дослідження .....	20
2.2. Підготовка зразків зерна пшениці.....	20
2.3. Визначення показників якості зерна пшениці.....	20
2.4. Методика зволоження зерна пшениці.....	21
2.5. Методика проведення плющення зерна пшениці .....	22
2.6. Методика подрібнення плющеного зерна пшениці на I драній системі .....	22
2.7. Розрахунок інтервалу надійності паралельних визначень одного дослідду.....	24
2.8. Математична обробка експериментальних даних.....	25
2.9. Висновки до розділу 2 .....	27
РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА.....	28
3.1. Показники якості досліджуваного зерна пшениці .....	28
3.2. Дослідження виходу борошнистих продуктів після плющення.....	28

3.3. Дослідження виходу проміжних продуктів подрібнення після I драної системи при подрібненні плющеної пшениці з попереднім виділенням борошнистих продуктів.....	30
3.4. Дослідження загального добутку проміжних продуктів подрібнення після I драної системи при подрібненні плющеної пшениці без попереднього виділення борошнистих продуктів .....	33
3.5. Дослідження гранулометричних характеристик продуктів подрібнення .....	35
3.6. Дослідження виходу окремих фракцій круподунстових продуктів подрібнення.....	39
3.7. Математична формалізація інтегральних кривих .....	41
3.7. Висновки до розділу 3 .....	43
<b>РОЗДІЛ 4. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....</b>	<b>45</b>
4.1. Наукове обґрунтування схеми помелу зерна пшениці в сортове борошно.....	45
4.2. Опис технологічного процесу помелу зерна пшениці в сортове борошно.....	46
4.3. Розрахунок вальцьових верстатів.....	52
4.4. Розрахунок просіюючої поверхні розсійників .....	53
4.5. Розрахунок ситовійних машин .....	55
4.6. Розрахунок вимелювальних машин, ентолейторів та деташерів .....	55
4.7. Проектування кількісно-якісного балансу помелу .....	58
4.8. Висновки до розділу 4 .....	59
<b>РОЗДІЛ 5. СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ.....</b>	<b>60</b>
5.1. Соціальна ефективність роботи .....	60
5.2. Розрахунок економічної ефективності.....	60
5.3. Висновки до розділу 5 .....	63
<b>ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....</b>	<b>64</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....</b>	<b>65</b>
<b>ДОДАТКИ .....</b>	<b>69</b>

ДОДАТОК А. Схема підготовки зерна до помелу (зерноочисне та розмелювальне відділення млинзаводу ).....	70
ДОДАТОК Б. Специфікація до схеми .....	71
ДОДАТОК В. Баланс борошномельного заводу сортового помелу зерна пшениці продуктивністю 150 т/добу .....	72
ДОДАТОК Г. Схема розмелювального відділення ( зерноочисне та розмелювальне відділення млинзаводу ).....	73
ДОДАТОК Д. Специфікація до схеми.....	74
ДОДАТОК Е. Теза з XIV Міжнародна науково-практична конференція магістрантів та аспірантів.....	75
ДОДАТОК Ж. Теза з 86 Наукова конференція .....	77

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Процес плющення привертає все більшу увагу дослідників, у зв'язку із інтенсифікацією драного процесу та помелу зерна в цілому, незважаючи на його застосування ще в середині ХХ століття.

Впровадження технологічного процесу компанії BUNLER в кінці 70-х років ХХ століття, ряд технологічних прийомів інтенсифікації процесу помелу були відкинуті в практичному застосуванні. Впровадження скорочених технологічних процесів помелу сприяло пошуку ефективних технологічних прийомів обробки зернопродуктів з метою збільшення виходу та якості сортового борошна. В теперішній час здійснюються пошуки технологічних прийомів для удосконалення скорочених процесів помелу в борошно.

Одним із способів покращення якості і збільшення виходу борошна є процес плющення зерна пшениці перед направленням його на І драну систему. Дослідженнями процесу плющення займалися такі дослідники: Максимчук Б.М., Сибіряков В.А., Сухарьов А.В. Нікіфорова І.А., Щербат С.І., Давидов Р.С. та інші. За кордоном процес плющення досліджував Zwengelberg Н., Stevens D.J., Брюкнер, Матис, Ешхаус та інші.

Давидов Р.С. досліджував процес плющення зерна пшениці зробив неоднозначні висновки щодо цього процесу. В одній із своїх робіт він вказує, що процес плющення перед І драною системою не впливає на крупоутворення в драному процесі, в іншій своїй роботі він вказує про вплив плющення на крупоутворення. Аналіз робіт Давидова Р.С. показав, що автор не вказує режимів плющення пшениці під час дослідження драного процесу і робить висновки про ефективність процесу плющення. Всі ці недоліки вимагають дослідження та перевірки висновків, які зроблені Давидовим Р.С.

**Метою досліджень** є дослідження впливу процесу плющення на крупоутворення в драному процесі.

На основі поставленої мети сформульовано наступні завдання:

- 1.Визначити та проаналізувати показники якості зерна, які використано для досліджень.
- 2.Дослідити вихід борошнистих продуктів в процесі плющення зволоженого зерна пшениці.
- 3.Дослідити загальний добуток продуктів подрібнення на I драній системі при різних режимах плющення.
- 4.Дослідити сумарний вихід проміжних продуктів подрібнення на плющильній та I драній системі.
- 5.Дослідити гранулометричний склад продуктів подрібнення на I драній системі при різних режимах плющення пшениці.
- 6.Здійснити аналіз виходу окремих продуктів подрібнення на I драній системі при різних режимах плющення пшениці.
- 7.Провести математичну обробку експериментальних даних.
- 8.Розробити технологічний процес помелу зерна пшениці в сортове борошно з урахуванням отриманих результатів досліджень.

#### **Наукова новизна.**

Наукова новизна полягає в тому, що експериментально доведено оптимальну відстань між вальцями плющильної системи, яка становить 1,4 мм. За цієї відстані між вальцями загальний вихід борошнистих продуктів не перевищує 4,0 %.

#### **Практичне значення отриманих результатів.**

На основі досліджень показано, що для загального добутку проміжних продуктів подрібнення після вальцьового верстата I драної системи відбір борошнистих частинок не створює значного впливу. Це свідчить, про те, що немає потреби встановлювати повітряний сепаратор між плющильним верстатом та верстатом I драної системи. В свою чергу це економить виробничі приміщення та кошти на придбання повітряного сепаратора.

**Особистий внесок магістранта.** Автором особисто проведені експериментальні дослідження, обробка експериментальних даних,

розрахунки та аналіз отриманих результатів із формулюванням висновків. Отримані результати експериментальних досліджень обговорювались із керівником к.т.н., доц. Харченко Є.І.

**Публікації.** На основі виконаної роботи опубліковано тези на 86 конференції студентів, аспірантів та молодих вчених.

**Структура та об'єм роботи.** Робота складається з вступної частини, 5 розділів, загальних висновків та додатків. Робота викладена на 75 сторінках машинописного тексту, має 7 рисунків, 9 таблиць. Список літератури включає 30 бібліографічних та інформаційних джерел.

## РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ТА ЕЛЕКТРОННИХ РЕСУРСІВ

### 1.1. Розвиток процесів попереднього руйнування зерна

Розгляд питання подрібнення зерна в історичному аспекті показало, що на початку розвитку сучасної борошномельної промисловості, при обладнанні її вальцьовими верстатами, широко використовували метод попереднього руйнування зерна з метою збільшення ефективності очищення його від пилу та мінеральних домішок. Цей технологічний прийом дозволяв подрібнювати зерно з меншими енерговитратами. Однак низька технологічна вологість зерна, яке подавалося на I драну систему і загальна недосконалість обладнання затримали застосування цього технологічного прийому, незважаючи на теоретичне обґрунтування його користі. Так, іще у 1942 році А.Ф. Іоффе із співробітниками в своїх роботах експериментально довели, що міцність тіла на розрив різко знижується під дією самих невеликих поверхневих дефектів, і що самі незначні порушення фізичної структури, як поверхневі так і внутрішні, впливають на зниження механічної міцності, а відповідно і опору при подрібненні. Дослідами А.Ф. Іоффе, М.В.Кирпичової та М.А. Левицької встановлено, що під дією невеликих дефектів на поверхні кристала кам'яної солі руйнування зразка відбувається під дією зусилля в 400 разів меншого, ніж при його відсутності, а наявність мікротріщин на поверхні скла знижує його міцність в 4...5 разів [9].

Нотович С. відмічав, що в перших вальцьових верстатах переважала конструкція, де один із вальців приводився до руху від приводу, тоді як інший – за рахунок тертя продукту по вальцях. Такі вальці називали «волочильними», так як вони під час роботи просковзували і немов би волочилися за валком, пов'язаним із приводом. Волочильні верстати в подальшому почали застосовувати при плющенні зерна [9].

Плющення зерна пшениці в минулому на етапі крупоутворення було вимушеної технологічною операцією, тому що були відсутні засоби для нарізання вальців. Крім того за рахунок недостатньо ефективного процесу його очищення перед помелом плющення сприяло додатковому видаленню пилу з поверхні зерна та із його боріздки. Із появою нарізних, гладкі вальці стали використовуватися переважно для «низьких» помелів, а в подальшому, головним чином, для жита [1, 9].

Stevens D.J. відмічає, що одним із важливих показників якості зерна є показник опору зерна розплющуванню, тобто ступінь його попереднього руйнування перед помелом [9].

Рейсіх В.Г. також вказував, що плющильний верстат використовується для роздавлювання (розплющування) зерна перед його подрібненням. Він вража, що на крупчастих млинах, операція плющення зерна пшениці недоцільна, тому що це погіршило б результати «високого» помелу. Але для прискорення помелу, в деяких випадках плющення використовували і в повторювальних помелах, але головне її призначення – це обслуговувати «ржанки» (млини житнього помелу). При помелах жита на I драній системі отримували краще за якістю борошна, оскільки плющення зерна і наступна його обробка щітками сприяли видаленню пиловидних домішок і частково зовнішніх шарів оболонки. З іншої сторони, плющення сприяло полегшенню роботи наступної драної системи із рифленими вальцями [9].

Щербаков С.І. звертав увагу на велике значення попереднього подрібнення зерна жита перед помелом. Для отримання борошна високої якості, починаючи із I драної системи, зерно необхідно попередньо плющити на гладких вальцях і подрібнювати на рифлених. Застосування плющильних верстатів збільшує вихід борошна в драному процесі, в той час як без попереднього подрібнення зерна утворюється більше крупок та дунстів [9, 28].

## **1.2. Теоретичні основи попереднього руйнування зерна перед помелом**

Процес деформації та подрібнення твердого тіла супроводжується витратами енергії, яка витрачається на утворення пружних та пластичних деформацій при доведенні його до руйнування, а також на подолання сил молекулярного зчеплення, після чого тіло руйнується на частини із утворенням великої сумарної поверхні. Частина енергії перетворюється в теплоту, витрачається на електризацію частинок продукту і робочих поверхонь, а також на подолання опору в подрібнюючому обладнанні (тертя і деформація деталей, їх нагрівання тощо) [22].

Одним із шляхів підвищення ефективності процесу подрібнення зерна є підвищення диференціації структурно-механічних властивостей оболонок і ендосперму, шляхом направленої зміни величини руйнуючої напруги зерна безпосередньо в процесі подрібнення. Для цього доцільно перед подрібненням зерна звільнити або значно зменшити його пружні та пластичні деформації [22].

Процес подрібнення зерна на I драній системі буде проходити в дві стадії. Фаза пружних і пластичних деформацій є першою стадією, яка здійснюється при попередньому руйнуванні зерна, а I драній системі відводиться функція утворення нової поверхні. Чим нижче режим її роботи, тим теоретично менше питомі витрати енергії на двостадійний процес подрібнення, за рахунок того, що витрати енергії на пружні та пластичні деформації зерна мають все меншу питому вагу, а витрати енергії на утворення нової поверхні – все більше [22].

При подрібненні зерна в дві стадії відбувається покращення якості продуктів подрібнення за рахунок збереження цілісності оболонок при попередньому руйнуванні зерна, що залежить від вибору способу «зняття» пружних та пластичних деформацій, а також робочого органу для цієї стадії подрібнення [22].

З усіх відомих видів деформацій в найбільшій мірі даній умові задовольняє деформування зерна стиском, який може бути здійсненим у вальцьовому верстаті при однакових окружних швидкостях гладких вальців, тобто плющенням зерна [22].

При попередньому руйнуванні зерна утворюється велика кількість макро- та мікротріщин, в результаті чого знижується об'ємна міцність зерна і на I драній системі воно подрібнюється із меншими руйнуючими напругами [22].

Аналіз теоретичних основ попереднього руйнування зерна показує, що плющення є способом, який дозволяє інтенсифікувати подрібнення зерна при помелах пшениці.

### **1.3. Способи попереднього руйнування зерна пшениці**

При помелах жита перед I драною системою застосовують подрібнюючу (підготовчу) або плющильну систему. На подрібнюючій системі встановлюють рифлені вальці при співвідношенні колових швидкостей вальців 1,2. Кількість рифлів на 1 см довжини кола вальців – 3, ухил рифлів – 8 %. На підготовчій системі зерно подрібнюється на крупні частинки, а потім через сито №040 в розсійнику відбирають обдирне борошно (до 1,0 %) [9].

Щербаков С.І. наводить два способи попереднього руйнування зерна перед направленням його на I драну систему. Обидва способи здійснюються у вальцьових верстатах. Відмінним є кінематичні та геометричні параметри вальців [28].

При першому способі відбувається подрібнення. Параметри вальців наступні: кількість рифлів 5 на 1 см, ухил 6 %, диференціал 1,5:1 при колівій швидкості вальців 6 м/с, розташування рифлів «спинка по спинці». При такому диференціалі та розташуванні рифлів зерно буде менше роздавлюватися, що і потрібно при попередньому подрібненні до

надходження його на I драну систему. При таких параметрах роботи вальців зерно буде «розгортатися», не допускаючи при цьому подрібнення оболонок. Режим роботи на верстаті для попереднього подрібнення зерна встановлюють самий високий, щоб не залишалось цілих зерен. При такому режимі подрібнення добуток продуктів не повинен перевищувати 0,5...0,6 % [28].

При другому способі руйнування зерна перед направленням на I драну систему зерно плющать у вальцьових верстатах на гладких вальцях із диференціалом 1:1. Застосування плющильних верстатів обумовлює збільшення виходу борошна з драних систем і зменшення кількості крупок [12, 28].

При попередньому подрібненні зерна утворюється більше крупок та дунстів, ніж після плющення. При плющенні зерна борошно після помелу утворюється м'яке, має погану сипкість і тому погано просіюється на ситах. При попередньому подрібненні борошно має більшу сипкість тому краще просіюється в розсійниках [28].

Попереднє руйнування зерна пшениці перед його направленням на I драну систему використовувалося у США, Італії, Німеччині тощо [5, 9, 28]. За кордоном приділялась значна увага попередньому руйнуванню зерна [9].

На млинзаводах США так звана «переддрана» система являла собою звичайні вальцьові верстати, але із більш дрібною нарізкою рифлів на вальцях. Щоб не допустити подрібнення зерна, на вальці наносять 15,7 рифлів на 1 см кола вальця із ухилом на швидкообертovому вальці 12,3 % і на повільно обертovому вальці – 4 %. Співвідношення швидкостей вальців 1:1. Режим подрібнення 3...7 %, через сито №1. Після переддраної системи продукт або направляються на просіювання у розсійник або одразу на I драну систему [5, 9].

Якщо на млинзаводі переробляється зерно високої якості, то попередньо подрібнене зерно не просіюють, а направляють на I драну систему не розсортованим [9].

#### **1.4. Вплив плющення зерна пшениці та жита на процеси помелу зерна в борошно**

На плющильній системі використовують гладкі вальці, які обертаються з однаковими коловими швидкостями. В результаті деформації стиснення порушуються внутрішні зв'язки частин зерна жита і покращуються умови відокремлення оболонок від ендосперму. Висівки утворюються більш крупні, борошно – більш тонке і світліше [9].

Досліджуючи різні структури технологічного процесу Давидов Р.С. дійшов висновку, що застосування попереднього руйнування зерна перед направленням його на I драну систему покращує якість борошна [14, 15]. Аналогічні висновки зроблені й іншими дослідниками [9]. Давидов Р.С. робить протилежні висновки щодо впливу процесу попереднього руйнування зерна пшениці на ефективність драного процесу, а саме вказує, що вихід та перерозподіл проміжних продуктів при класичній схемі драного процесу та процесу із використанням переддраної системи не змінюється, але одночасно вказує, що при застосуванні переддраної системи загальний добуток на I драній системі становив  $45,4 \pm 1,2$  %, а без використання переддраної системи загальний добуток становив  $42,2 \pm 2,4$  % [14, 15]. В роботі [14, 15] автор вказує, що процес попереднього руйнування зерна не впливає на процес крупоутворення.

Недоліком досліджень Давидова Р.С. є те, що автор не розділяє процес попереднього подрібнення та плющення зерна [14, 15]. Щербаков С.І. [28] чітко вказує на відмінності процесу плющення та процесу попереднього подрібнення.

Сибіряков В.А., Максимчук Б.М. та Нікіфорова І.А. [20] досліджували ефективні режими роботи I драної системи, в результаті чого зробили висновок, що зі зменшенням зазору між вальцями I драної системи збільшується сумарний вихід продуктів однойменних класів крупності і

зменшується розмір частинок; крупки стають більш вирівняними за розмірами. Зольність однойменних класів крупності збільшується.

Подрібнення плющеного зерна пшениці при різних питомих навантаженнях на I драній системі призводить до зменшення виходу крупної крупки при збільшенні ступеня попереднього руйнування зерна. Загальний вихід проміжних продуктів подрібнення з I драної системи зменшується з 65,3 % до 63,1 %, що обумовлено збільшенням відбору суміші круподунстових продуктів на плющильній системі в результаті зменшення відстані між гладкими вальцями. Автори досліджень [20] роблять висновок, що режим роботи плющильної системи здійснює суттєвий вплив на результати роботи I драної системи. Найкращі результати за показником зольності вилучених круподунстових продуктів та борошна спостерігаються при інтервалі зазору між вальцями 0,6...1,0 мм і навантаженні на I драну систему 500 кг/(см×добу), і 1,0...1,4 мм при навантаженні 1000 кг/(см×добу). При подрібненні цілого зерна при відстані між вальцями 0,1 мм спостерігається погіршення якості продуктів подрібнення [20].

Збільшення ступеня руйнування зерна шляхом зменшення зазору між вальцями на плющильній системі сприяє зниженню витрат енергії на наступній стадії подрібнення зерна із порушеною структурою ендосперму, збільшує вихід дрібних фракцій проміжних продуктів помелу без погіршення їх якості. Помел плющеного зерна дозволяє відбирати борошна вищого сорту на 3...5 % більше, схема технологічного процесу спрощується, обертання продуктів по всьому процесу знижується на 20...25 % [20].

Застосування плющильної системи зменшує витрати енергії на наступній I драній системі на 20 %, термін служби рифлів збільшується і зменшується виділення теплоти [9].

Ці факти вимагають подальшого детального дослідження, оскільки відомо, що режим роботи першої I драної системи впливає на перерозподіл круподунстових продуктів на наступних системах [28].

## **1.5. Висновки до розділу 1**

1.Огляд літератури показує, що попереднє руйнування зерна методом плющення його на рифлених або гладких вальцях є ефективною технологічною операцією при очищенні поверхні зерна, а також при помелах жита і пшениці.

2.Потребує дослідження впливу режимів плющення на вихід круподунстових продуктів на плющильній системі.

3.З аналізу літературних джерел видно, що відсутні дослідження впливу режимів плющення пшениці на режими подрібнення I драної системи.

## **РОЗДІЛ 2. ОБ'ЄКТИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ПЛЮЩЕННЯ ТА ПОДРІБНЕННЯ ПШЕНИЦІ**

### **2.1. Об'єкт та предмет дослідження**

Об'єктом досліджень є технологія плющення зерна пшениці в процесі помелу її в сортове борошно.

Предметом досліджень є аналіз виходу проміжних продуктів плющення та подрібнення в залежності від режимів плющення.

### **2.2. Підготовка зразків зерна пшениці**

Перед початком досліджень зерно пшениці пропускали через лабораторний зерноочисний сепаратора ЗЛС з метою виділення дрібних домішок, крупного та дрібного зерна. Метою цієї операції було вирівнювання зерна за геометричними розмірами. В зерноочисному сепараторі встановлено набір решітних полотен із розмірами отворів 3,0×20 мм, 2,4×20 мм та 1,8×20 мм. Дослідну фракцію зерна виділяли проходом решітного полотна 3,0×20 мм і сходом 2,4×20 мм.

Вирівняну за розмірами фракцію зерна пропускали через аспіраційний канал з метою виділення легких домішок та частково щуплого зерна пшениці. Після чого визначали показники якості дослідної фракції зерна пшениці.

### **2.3. Визначення показників якості зерна пшениці**

В підготовленій пшениці визначали вологість, натуру та скловидність зерна, а також масу 1000 зерен.

Вологість дослідного зерна пшениці визначали відповідно до ISO 712:2009(E). «Cereals and cereal products. Determination of moisture content»,

шляхом висушування в сушильній шафі подрібненої у лабораторному млинку наважки зерна пшениці масою 5 г на протягом 60 хв при температурі 130 °С.

Натуру зерна пшениці вимірювали за допомогою літрової пурки ПХ-2 відповідно до ISO 7971-3:2009(E). «Cereals – Determination of bulk density, called mass per hektolitre». Відміряну масу одного літру зерна пшениці зважували на технічних вагах 2-го класу точності.

Масу 1000 зерен пшениці вимірювали відповідно до ISO 520:2010. «Cereals and pulses – Determination of the mass of 1000 grains» шляхом відрахування 1000 цілих зерен із загальної маси зерна пшениці.

Скловидність зерна пшениці вимірювали відповідно до ГОСТ 10987-76 «Зерно. Методы определения стекловидности» за допомогою діафаноскопу ДСЗ-3, шляхом просвічування 100 зерен пшениці світловими променями.

#### **2.4. Методика зволоження зерна пшениці**

Перед проведенням плющення зерно пшениці насипали у дві великі миски по 2,5 кг в кожну і заливали розраховану за формулою 2.1 кількість води. Кінцева розрахункова вологість пшениці приймалася 16,0 %.

$$G_e = G_z \left( \frac{W_1 - W_0}{100 - W_1} \right), \quad (2.1)$$

де  $G_e$ ,  $G_z$  – відповідно маса води та маса зерна, яка підлягає зволоженню, г;  $W_0$ ,  $W_1$  – відповідно вологість зерна початкова та задана (16,0 %), %.

Після додавання розрахункової кількості води зерно активно перемішувалося на протягом 5 хв. і залишалося на добу для відлежування. Перед проведенням плющення зерно з обох мисок об'єднувалося та ретельно перемішувалося. Перед початком досліджень відбиралася наважка зерна пшениці для визначення фактичної вологості зерна, а решта зерна пшениці направлялася на дослідження. З цієї маси зерна  $1,0 \pm 0,1$  кг пшениці залишали

для контрольного зразка, який подрібнювався у вальцьовому верстаті без плющення.

## **2.5. Методика проведення плющення зерна пшениці**

Плющення зерна пшениці проводилося при чотирьох різних режимах, які характеризувалися відстанню між вальцями, яку вимірювали за допомогою відтарованих за товщиною ручних пластин. Відстань між вальцями встановлювалася від 0,4 до 1,6 мм із кроком в 0,4 мм. Швидкість обертання вальців плющильного верстата становила  $14,6 \text{ с}^{-1}$  (880 об/хв), ширина вальців –  $68,4 \pm 0,1$  мм, а діаметр вальців –  $144,0 \pm 0,01$  мм, співвідношення колових швидкостей вальців – 1,0.

Плющенню піддавали зразки відлежаної пшениці масою 1 кг рівно. Після плющення отримані продукти пропускали через аспіраційний канал із шириною каналу 60 мм з метою виділення борошна, дунстів та частково крупок. Цей етап проводили з метою приведення усіх продуктів плющення до однакових умов. Після очищення продуктів плющення в аспіраційному каналі продукти плющення зважувалися і направлялися на вальцьовий верстат I драної системи лабораторної установки ЛМ-2.

## **2.6. Методика подрібнення плющеного зерна пшениці на I драній системі**

Продукти плющення пропускалися через вальцьовий верстат I драної системи ЛМ-2 без зміни режиму подрібнення, з метою з'ясування зміни загального добутку та виходу окремих фракцій продуктів подрібнення.

Вальці вальцьового верстата I драної системи лабораторної установки ЛМ-2 мали наступні кінематичні та геометричні параметри: довжина вальців – 70 мм; кількість рифлів на 1 см кола вальців – 6, ухил рифлів – 12 %,

співвідношення колових швидкостей – 1:2, швидкість обертання швидкохідного вальця – 3,93 м/с, діаметр вальців – 150 мм, взаєморозташування рифлів – сп/сп, кути загострення рифлів - 35°/70°. Відстань між вальцями I драної системи приймали 0,5 мм у відповідності до «Методики проведення лабораторних помелів на млині типу ЛМ» [11].

Після подрібнення лотком відбиралися по чотири наважки суміші продуктів подрібнення, після чого проводилося в чотирьох повторностях просіювання з метою визначення загального добутку, тобто встановлення режиму подрібнення I драної системи. Загальний добуток визначали шляхом просіювання продуктів подрібнення на металотканому ситі з отворами 1000 мкм. Під час просіювання на сито також клали три кульки з метою його очищення під час просіювання. Принципову схему досліджень наведено на рис. 2.1.

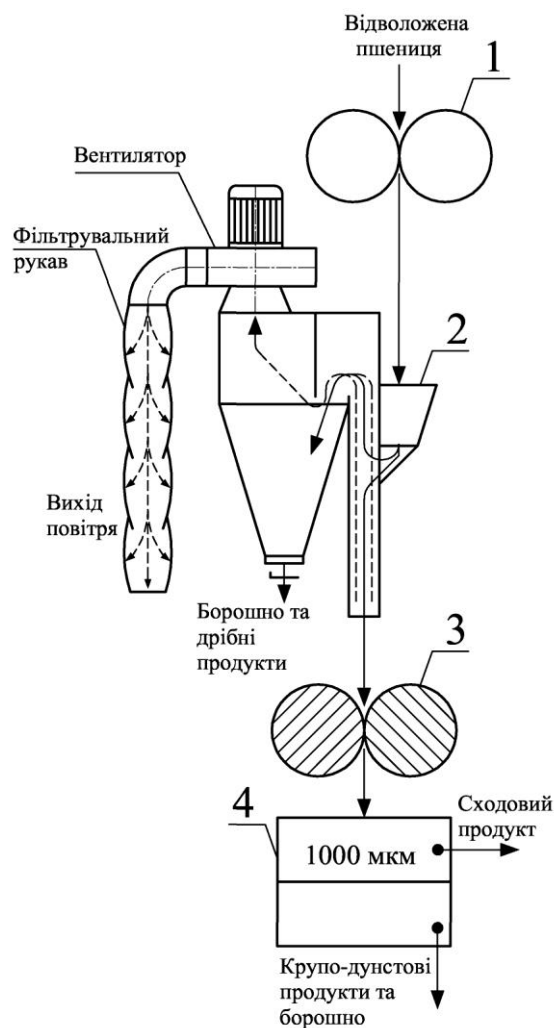


Рис. 2.1. Принципова схема досліджень впливу плющення на загальний добуток проміжних продуктів подрібнення: 1 – плющильний верстат; 2 – аспіраційний канал; 3 – вальцовий верстат I драної системи; 4 – контрольне сито для визначення загального добутку.

Після визначення загального добутку, продукти чотирьох повторностей об'єднувалися і проводилося визначення гранулометричного складу продуктів подрібнення. Гранулометричний аналіз здійснювали на наборі сит з такою умовою, щоб модуль сита становив в межах  $\pm 1,21$ , для цього використовували наступні сита: 800, 670, 600, 560, 500, 450, 390, 315, 300, 250, 200, 160, 132, 112, 90, 71, 56, 45 мкм.

Після просіювання здійснювали обробку експериментальних даних та робили висновки щодо зміни загального добутку та виходу окремих фракцій продуктів подрібнення.

При незмінних режимах подрібнення здійснювали подрібнення цілого зерна пшениці (контрольний зразок) з відбором проміжних продуктів подрібнення та подальшим їх гранулометричним аналізом.

## **2.7. Розрахунок інтервалу надійності паралельних визначень одного досліджу**

Інтервал надійності одного досліджу розраховувався з метою отримання достовірних результатів досліджень [10].

Середнє значення двох паралельних визначень розраховувалося за формулою:

$$y = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} \quad (2.2)$$

де  $\sum_{i=1}^n y_i$  – сума значень паралельних повторностей, які отримані в результаті досліджу;  $n$  – кількість паралельних повторностей одного досліджу.

Дисперсія розраховувалася за формулою:

$$S_{yk}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_k - \bar{y})^2}{n-1} \quad (2.3)$$

Стандартне відхилення окремого вимірювання розраховувалося за формулою:

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

Стандартне відхилення середнього результату розраховувалося за формулою:

$$S_{\bar{y}} = \frac{S_{yk}}{\sqrt{n}} \quad (2.5)$$

Величину достовірної помилки  $\varepsilon_{\bar{y}}$  визначали використовуючи  $t$ -критерій Стюдента. Табличне значення  $t$ -критерія Стюдента знаходили за табличними даними при достовірному інтервалі  $\alpha = 0,95$  і ступені вільності  $f = n - 1$ . Достовірну помилку розраховували за формулою:

$$\varepsilon_{\bar{y}} = t \cdot S_{\bar{y}} \quad (2.6)$$

де  $t$  – табличне значення  $t$ -критерія Стюдента.

Результат декількох повторностей одного дослідження подавали у наступному вигляді:

$$\bar{y} \pm \varepsilon_{\alpha}$$

## 2.8. Математична обробка експериментальних даних

Експериментальні дані подавали у вигляді графіків та таблиць з метою зручності їх аналізу. Графічні дані оброблялися за допомогою програмного забезпечення MS Excel 2003.

Обробку експериментальних даних та розрахунків криволінійних рівнянь регресії другого порядку виконували за допомогою методу найменших квадратів, за формулами [3, 4]:

$$b_0 = \frac{\sum_{u=1}^N (y_u - b_2 x_u^2)}{N} \quad (2.7)$$

$$b_1 = \frac{\sum_{u=1}^N x_u y_u}{\sum_{u=1}^N x_u^2} \quad (2.8)$$

$$b_2 = \frac{\sum_{u=1}^N (y_u - b_0) x_u^2}{\sum_{u=1}^N x_u^4} \quad (2.9)$$

Стандартне відхилення (середньоквадратичне відхилення) визначали за формулою:

$$S_{\frac{y}{x}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_0 - y_i)^2}{n-2}} \quad (2.10)$$

де  $Y_0$  – теоретичне значення розраховане за рівнянням регресії;  $\bar{y}_i$  – експериментальне значення, отримане в результаті експерименту.

Стандартне відхилення дає можливість оцінити відхилення експериментальних даних від розрахованого за рівнянням регресії.

При поданні графіків розраховувалися коефіцієнти кореляції, які показують взаємозв'язок між двома ознаками. Коефіцієнт кореляції розраховували за формулою:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (2.11)$$

де  $x, y$  – ознаки об'єкта досліджень.

## **2.9. Висновки до розділу 2**

1. Наведена методика проведення експериментів дозволяє дослідити загальний добуток проміжних продуктів подрібнення I драної системи та здійснити гранулометричний аналіз цих продуктів.

2. Наведена методика досліджень дозволяє дослідити режими роботи плющильної системи в лабораторних умовах.

3. Наведена математична обробка експериментальних даних дозволяє провести оцінку точності проведених досліджень та розрахувати рівняння регресії досліджуваного процесу.

## РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

### 3.1. Показники якості досліджуваного зерна пшениці

Під час досліджень перероблялася низькоскловидна пшениця, показники якості якої наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Показники якості пшениці

Найменування показника	Значення показника
Натура зерна, г/л	756,6±3,07
Маса 1000 зерен, г	38,05±0,61
Скловидність зерна, %	21,3±4,7
Вологість зерна до зволоження, %	13,0±0,08
Вологість зерна після зволоження, %	14,06±0,16

Низька вологість зерна після його зволоження може бути пояснена структурно-механічними особливостями зерна пшениці. Низько скловидна пшениця переважно менше поглинає вологи під час зволоження ніж високо скловидна [9, 17].

### 3.2. Дослідження виходу борошнистих продуктів після плющення

Під час проведення досліджень плющення пшениці з різними відстанями між вальцями вивчали зміну виходу борошнистих продуктів після плющення. Результати досліджень показали, що вихід борошнистих продуктів має криволінійну залежність спадаючого виду. Зі збільшенням величини відстані між вальцями вихід борошнистих продуктів зменшується. Результати досліджень наведено на рис. 3.1.

Зменшення виходу борошнистих продуктів пояснюється тим, що сили стиску які діють на окрему зернівку зменшуються, що призводить до

зменшення деформацій зернівок. В свою чергу зниження деформацій призводить до зменшення напруг, які виникають в середині зернівок і зменшується руйнування внутрішньої структури ендосперму зернівок пшениці.

Отримана залежність співпадає за виглядом із залежностями, які наведено в роботі [26].

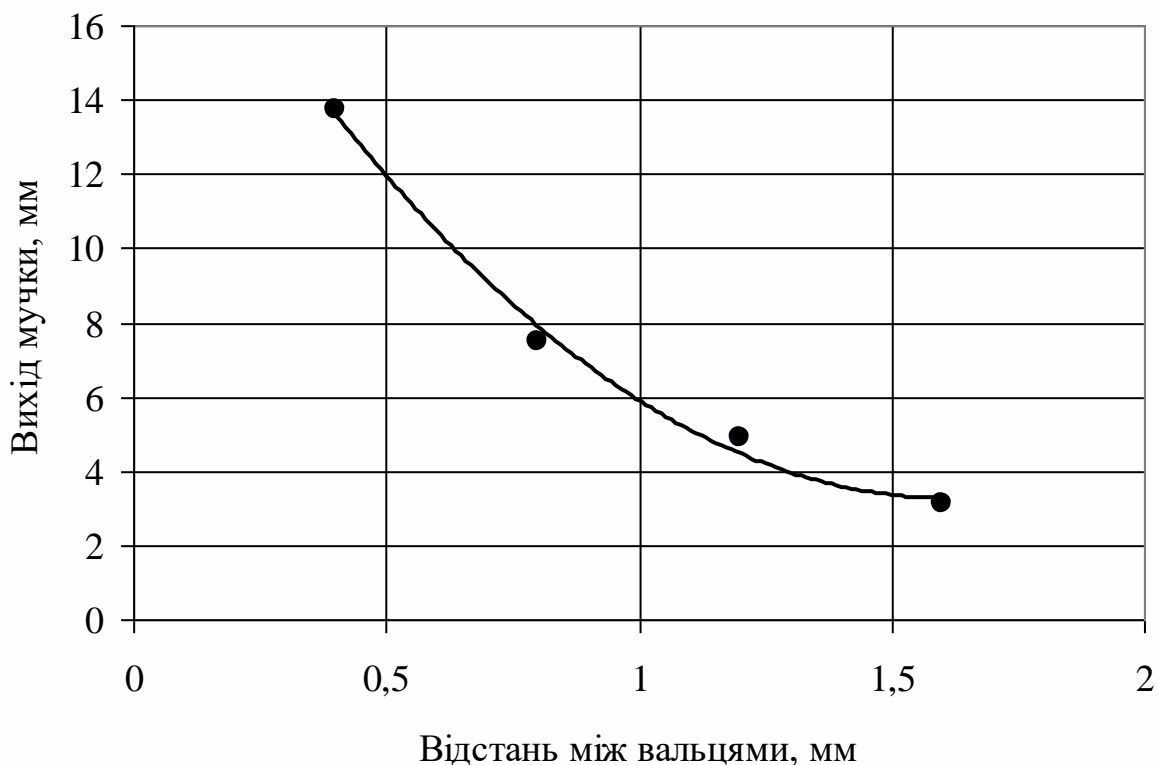


Рисунок 3.1 – Вихід борошністих продуктів після плющильного верстату

Отримана залежність добре описується експоненціальною залежністю, яку запропоновано Панченко А.В. [23, 24]. Залежність, яку наведено на рис. 3.1 описується наступним рівнянням:

$$B_{\sigma} = 21,24e^{-1,216d} \quad (3.1)$$

де  $B_{\sigma}$  – вихід борошністих продуктів, %;  $d$  – величина зазору між вальцями, мм.

Статистичний аналіз отриманої залежності показав, що коефіцієнт кореляції між величиною зазору між вальцями та виходом борошністих

продуктів становить 0,99, це свідчить про дуже високу залежність між досліджуваними ознаками. Стандартне відхилення становить 0,49 %, це свідчить про те, що експериментальні значення відхиляються від розрахованих за рівнянням 3,1 на 0,49 %.

Наведені результати досліджень показують зміну виходу борошнистих продуктів подрібнення після плющильного верстату. Покажемо як змінюється загальний добуток проміжних продуктів подрібнення після I драної системи в умовах відокремлення борошнистих продуктів після плющильного верстату.

### 3.3. Дослідження виходу проміжних продуктів подрібнення після I драної системи при подрібненні плющеної пшениці з попереднім виділенням борошнистих продуктів

Дослідження загального добутку проміжних продуктів подрібнення після I драної системи при подрібненні плющеної пшениці при різних зазорах показали суттєвий вплив на режим роботи цієї системи. Результати досліджень наведено на рис. 3.2. Відстань між вальцями I драної системи була незмінною протягом усіх досліджень.

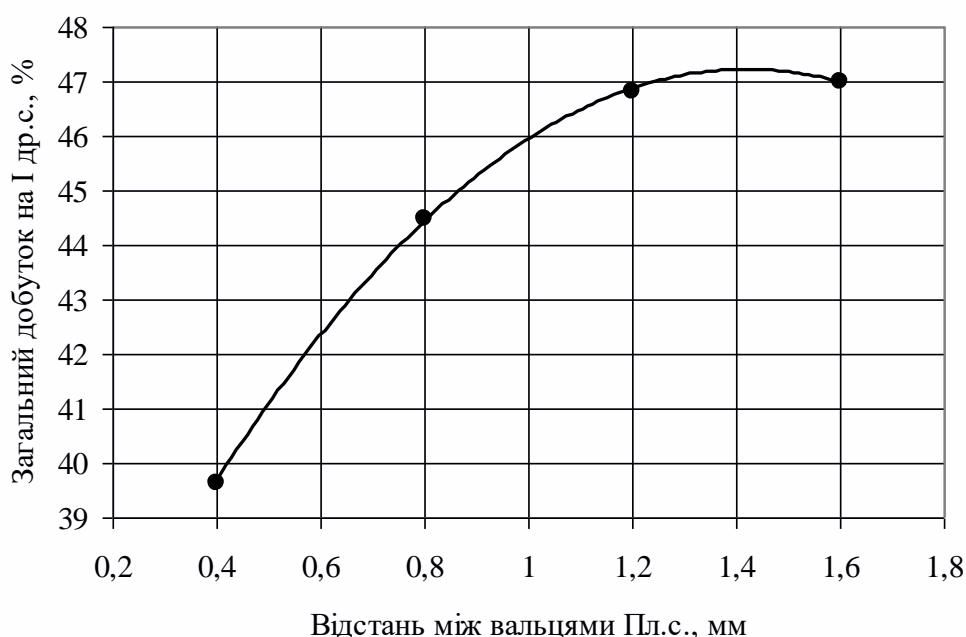


Рисунок 3.2 – Зміна загального добутку проміжних продуктів подрібнення на I драній системі в залежності від відстані між вальцями на плющильній системі (з виділенням борошнистих продуктів після плющення)

Залежність загального добутку продуктів подрібнення після I драної системи має зростаючий криволінійний вигляд. При цьому спостерігається точка екстремуму, в якій найбільший вихід проміжних продуктів подрібнення ( $Z_d = 47,2 \%$ ) є найбільшим. Наявність точки екстремуму свідчить про те, що зменшувати величину зазору між вальцями плющильного верстату для збільшення загального добутку проміжних продуктів подрібнення на I драній системі не доцільно.

Зростаючу криволінійну залежність загального добутку проміжних продуктів можна пояснити тим, що зі збільшенням величини відстані між вальцями зменшується кількість борошнистих частинок, які виділяються після плющильного верстату і ці частинки направляються на подрібнення. Крім цього під час плющення відбувається початковий етап руйнування структури ендосперму пшениці. Плющильний верстат лише збільшує мікротріщини в структурі ендосперму без надмірного його подрібнення при величині зазору 1,4 мм.

Отримана залежність описується гіперболічною залежністю наступного виду:

$$Z_d = -\frac{4,027}{d} + 49,743 \quad (3.2)$$

де  $Z_d$  – загальний добуток проміжних продуктів подрібнення після I драної системи, %;  $d$  – величина зазору між вальцями плющильної системи, мм.

Статистичний аналіз залежності 3.2 показав, що коефіцієнт кореляції між величиною зазору між вальцями плющильного верстату та загальним добутком проміжних продуктів I драної системи становить 0,99. Це свідчить про дуже сильний зв'язок між досліджуваними ознаками. Стандартне відхилення становить 0,29 %. Це свідчить про те, що між дослідними даними

та розрахованими за рівнянням 3.2 відхиляються не більше ніж на 0,29 % за абсолютною величиною.

Слід зауважити, що загальний добуток проміжних продуктів подрібнення після I драної системи контрольного зразку (ціле не плющене зерно) на 2,9 % більше ніж загальний добуток проміжних продуктів подрібнення в точці екстремуму. При подрібненні цілого зерна (контрольний зразок) загальний добуток проміжних продуктів подрібнення після I драної системи становив 49,8 %, в той час як в точці екстремуму 47,2 %.

Такі відмінності можна пояснити тим, що при подрібненні цілого зерна, яке не проходило плющення, вона не змінювало своїх лінійних розмірів тому дало більший вихід проміжних продуктів подрібнення. Як вже зазначалося протягом усіх дослідження величина зазору між вальцями I драної системи була постійною.

Залежність, яку наведено на рис. 3.2 може мати місце в тих технологічних процесах переробки зерна пшениці в борошно, де використовується повітряний сепаратор з метою відбору борошнистих продуктів після плющильного верстату. Встановлення повітряного сепаратору після плющильного верстату дозволяється «Правилами організації і ведення технологічного процесу на борошномельних заводах». За умови відбору борошнистих продуктів подрібнення після плющильного верстату можна рекомендувати величину зазору між вальцями плющильного верстату 1,4 мм. За такої величини зазору між вальцями вихід борошнистих продуктів після плющильного верстату не перевищує 4,0 %.

Дослідження загального добутку проміжних продуктів подрібнення після I драної системи були виконані із відбиранням борошнистих продуктів після плющильного верстату. Покажемо як змінюється загальний добуток проміжних продуктів подрібнення після I драної системи за умови направлення на I драну систему як плющеного ендосперму пшениці так і борошнистих продуктів після плющильного верстату.

### 3.4. Дослідження загального добутку проміжних продуктів подрібнення після I драної системи при подрібненні плющеної пшениці без попереднього виділення борошнистих продуктів

Дослідженнями встановлено, що сумарний добуток продуктів подрібнення після I драної системи та після плющильного верстату має зовсім інший вид ніж залежність між величиною зазору між вальцями плющильного верстату та загальним добутком проміжних продуктів після I драної системи (рис. 3.2).

Крива сумарного добутку двох систем має спадаючий вид. При цьому найбільший сумарний вихід спостерігався при величині зазору між вальцями плющильної системи 0,4 мм і становив 63,5 %. Збільшення величини зазору між вальцями плющильної системи від 0,4 мм до 1,6 мм призвело до зниження загального виходу до 49,9 %. Результати досліджень наведено на рис. 3.3.

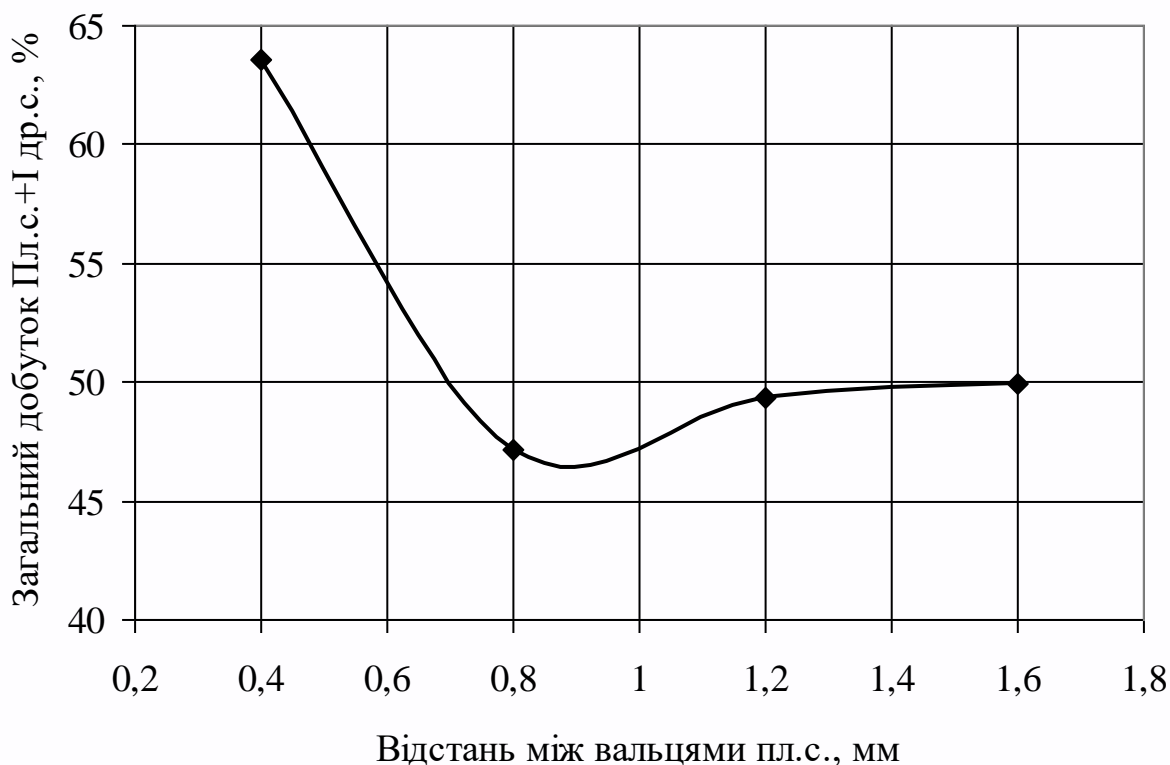


Рисунок 3.3 – Зміна загального добутку проміжних продуктів подрібнення сумарно після плющення та I драної системи

Як видно з рис. 3.3 простежується точка мінімуму в межах величини зазору між вальцями 0,9 мм. Із подальшим збільшенням відстані між вальцями плющильного верстату сумарний добуток плющильної системи та вальцьового верстату збільшується з 47,1 % до 49,9 %. Із даних рисунку можна також помітити, що найкращим режимом плющення може бути такий, при якому відстань між вальцями плющильного верстату змінюється від 1,2 до 1,6 мм.

Крива має складний спадаючий характер, що не дозволяє її математично описати засобами методу найменших квадратів.

Таку складну залежність сумарного добутку двох технологічних систем можна пояснити тим, що борошністі продукти після плющильного верстату потрапляють у між вальцьовий зазор I драної системи і створюють негативні впливи на подрібнення крупних частин ендосперму. На кожному етапі подрібнення утворюються частинки різної крупності. У складі цих сумішей є частинки борошна, які не потребують подрібнення. Залишившись у загальній масі продукту разом із крупними частинками ендосперму, вони сприймають на себе частину зусиль вальців I драної системи, зменшуючи витрати енергії, які повинні піти на руйнування ендосперму, тим самим знижують потенційну технологічну ефективність процесу подрібнення. В хімічній технології давно відомо про «гальмуючий» вплив готової за крупністю продукції на перебіг процесів подрібнення. На основі цього існує правило: «Нічого зайвого не подрібнювати» [21, 25].

Порівнюючи результати досліджень, які наведено на рис. 3.2 та 3.3, можна бачити, що порядок величин загального добутку зберігається. Загальний добуток після I драної системи без виділення борошністих продуктів після плющення при величині зазору між вальцями 1,4 мм знаходиться в межах 49,0 %. З цього можна зробити висновок, що значного впливу на загальний добуток I драної системи не здійснюється і тому при

організації технологічного процесу відбір борошнистих продуктів перед I драною системою суттєво не вплине на ефективність подрібнення I драної системи.

Для більш повного аналізу продуктів подрібнення необхідно розглянути гранулометричні характеристики продуктів подрібнення.

### **3.5. Дослідження гранулометричних характеристик продуктів подрібнення**

Гранулометричний аналіз дозволяє визначити вихід класів крупності, досліджуваного зразка [2]. Досліджувалися гранулометричні характеристики суміші продуктів подрібнення після вальцьового верстату I драної системи. При цьому борошністі продукти після плющильної системи були попередньо виділені.

Дослідженнями гранулометричних характеристик продуктів подрібнення після I драної системи встановлено складну диференціальну криву виходу окремих фракцій продуктів подрібнення I драної системи, при цьому подрібнювалися продукти з яких борошністі частинки після плющильної системи були відібрані. Результати досліджень наведено на рис. 3.4.

Диференціальні криві, які наведено на рис. 3.4 мають відносно однаковий вигляд. Звертає на себе увагу те, що при подрібненні на I драній системі цілого зерна (контрольного зразку), в діапазоні розмірів частинок від 90 мкм до 400 мкм вихід продуктів більший ніж для подрібнення пшениці, яка пройшла плющення. А від 400 мкм до 1000 мкм вихід продуктів менший ніж для продуктів, які пройшли плющення. В даному разі можна зробити висновок, що крупні фракції більше подрібнилися і перейшли у більш дрібніші.

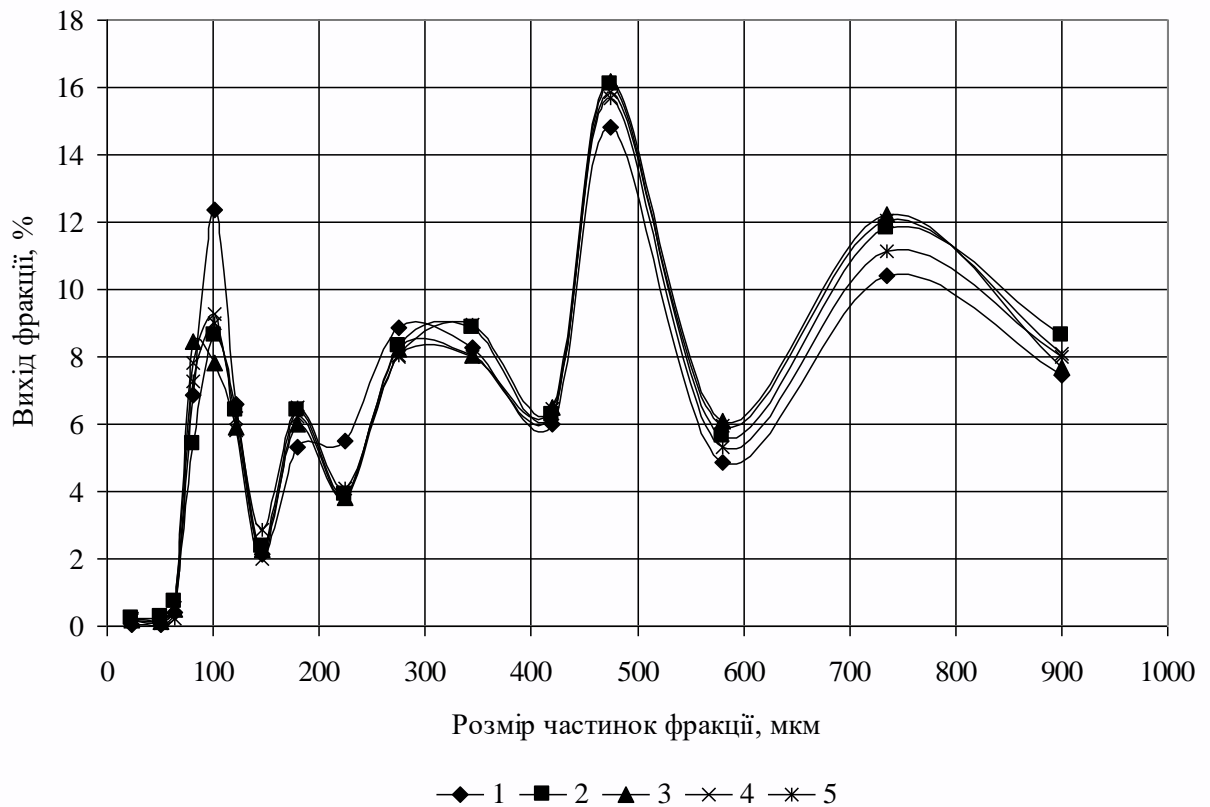


Рисунок 3.4 – Диференціальна крива розподілу частинок проміжних продуктів подрібнення після I драної системи (з відокремленням борошнистих продуктів перед I драною системою):

- 1 – контрольний зразок (ціле зерно);
- 2 – величина відстані між вальцями плющильної системи 0,4 мм;
- 3 – величина відстані між вальцями плющильної системи 0,8 мм;
- 4 – величина відстані між вальцями плющильної системи 1,2 мм;
- 5 – величина відстані між вальцями плющильної системи 1,6 мм;

Для продуктів, які пройшли плющення незалежно від величини зазору між вальцями плющильної системи спостерігається менший вихід дрібних фракцій (менше 400 мкм) і навпаки збільшення виходу крупних фракцій.

Диференціальні криві показують, що вихід окремих фракцій крупності ендосперму як із застосуванням плющення так і без нього має нерівномірний розподіл і далекий від нормального розподілу.

Сумарні або кумулятивні (інтегральні) виходи фракцій, показують скільки матеріалу від загальної проби крупніше даного розміру. Інтегральні характеристики в порівнянні із диференціальними є кращим способом графічного зображення даних гранулометричного складу. За виглядом інтегральної кривої та ступенем її вогнутості можна робити висновок щодо переважання в матеріалі крупних чи дрібних фракцій. Інтегральні криві менш чутливо відображають зміни в гранулометричному складі ніж диференціальні. Робити висновки щодо кількості одного класу крупності відносно іншого можливо лише за площами під кривими [2].

Інтегральні криві розподілу продуктів подрібнення зерна пшениці наведено на рис. 3.5. Із даних рисунку видно, що найбільший вихід окремих класів крупності спостерігався при подрібненні на I драній системі контрольного зразка, тобто цілого зерна. А плющення призводило до зменшення виходу окремих класів крупності. Найменший вихід окремих фракцій крупності спостерігався при плющенні пшениці із величинами зазору між вальцями від 0,4 до 1,2 мм.

Із цих даних можна зробити висновок, що для досягнення кращих виходів окремих фракцій необхідно збільшувати загальний добуток на I драній системі.

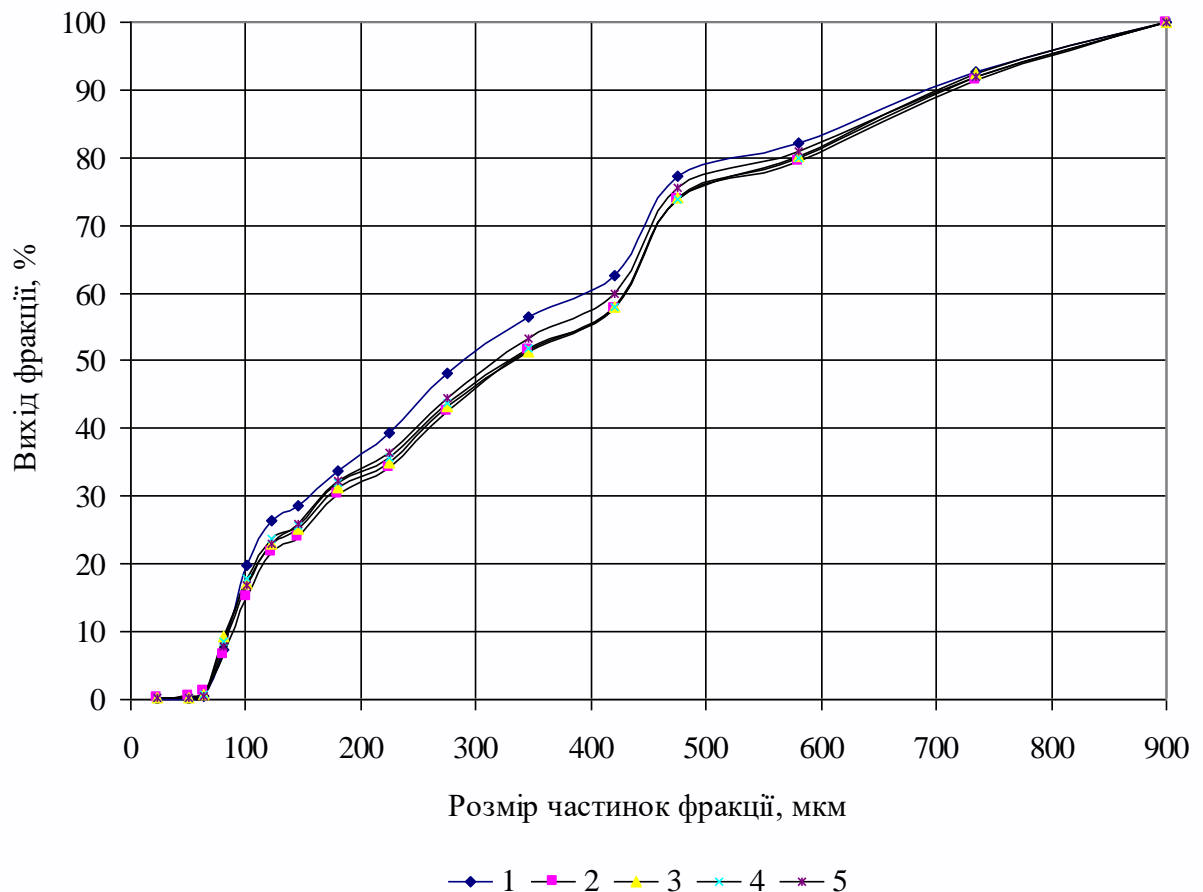


Рисунок 3.5 – Інтегральна крива розподілу частинок проміжних продуктів подрібнення після I драної системи (з відокремленням борошнистих продуктів перед I драною системою):

- 1 – контрольний зразок (ціле зерно);
- 2 – величина відстані між вальцями плющильної системи 0,4 мм;
- 3 – величина відстані між вальцями плющильної системи 0,8 мм;
- 4 – величина відстані між вальцями плющильної системи 1,2 мм;
- 5 – величина відстані між вальцями плющильної системи 1,6 мм;

Більший вихід окремих фракцій продуктів при подрібненні на I драній системі можна пояснити тим, що зерна пшениці не піддавалися деформаціям і тому постійна величина зазору між вальцями I драної системи створила більші зусилля на окремі зерна, що і дало більший вихід окремих фракцій. Проплющені зерна, навпаки змінили свої габаритні розміри і тому, вальці I драної системи створили менший вплив на деформовані зерна, що і призвело до зменшення виходу окремих фракцій крупності. Чим більше була величина

зазору між вальцями плющильної системи, тим менший вихід окремих фракцій крупності отримано.

Отримані інтегральні криві мають схожий вигляд до інтегральних кривих, які отримано G.M. Campbell та його колеги [29, 30].

З рис. 3.5 видно вогнутість вгору усіх інтегральних кривих і діапазоні розмірів фракцій від 400 до 550 мкм. Це може бути пояснено тим, що не досить точно дотримано модуль сит, на яких здійснювалося просіювання зразків або особливостями подрібнення зерна у вальцьовому верстаті I драної системи. Форма кривих досить складна, тому описати їх математично не є можливим.

Із гранулометричного аналізу можна здійснити аналіз виходу окремих фракцій круподунстових продуктів, що і наводиться нижче.

### **3.6. Дослідження виходу окремих фракцій круподунстових продуктів подрібнення**

Аналіз гранулометричних характеристик продуктів подрібнення дозволив зробити аналіз змін виходу круподунстових продуктів подрібнення при різній величині зазору між вальцями плющильної системи та сталому зазорі між вальцями I драної системи. За умови відбору борошнистих продуктів після плющильної системи. Результати досліджень наведено в табл. 3.1.

Аналіз даних табл. 3.1 показує, що при відстані між вальцями плющильного верстату від 0,4 мм до 1,2 мм вихід крупної крупки не змінювався, а вже при відстані між вальцями плющильної системи 1,6 мм почав знижуватися від 26,0 % до 24,5 %. При подрібненні контрольного зразка (цілого зерна), вихід крупної крупки зменшився ще більше до 22,7 %.

Вихід середньої крупки суттєвих змін не мав при зміні зазору між вальцями плющильної системи. Але при подрібненні контрольного зразка знизився до 2,0 %.

Таблиця 3.1 – Вихід круподунстових продуктів після I драної системи при різних відстанях між вальцями плющильної системи

Найменування продукту	Контрольний зразок	Відстань між вальцями плющильної системи			
		0,4	0,8	1,2	1,6
Крупна крупка	22,7	26,1	26,0	26,1	24,5
Середня крупка	20,8	22,4	22,7	22,2	22,1
Дрібна крупка	17,2	17,2	16,2	16,0	17,0
Дунсти	10,8	10,3	9,8	10,0	10,6
Борошно	28,5	24,0	25,2	25,7	25,9

Аналогічно зміни виходу дрібної крупки при зміні зазору між вальцями плющильної системи коливалися в межах від 16,0 % до 17,2 % і суттєвих змін не спостерігалось.

Вихід дунстів залишався переважно сталим при усіх режимах плющення та подрібнення і змінювався від 9,8 % до 10,8 %.

Вихід борошна при проходженні зерна через плющильну систему коливався в межах від 24,0 до 25,9, що свідчить про деяке постійне значення. Але при подрібненні контрольного зразку (цілого зерна) вихід борошна збільшився в середньому на 4,0 %. Це може бути пояснено тим, що при подрібненні у вальцьовому верстаті цілі зерна пшениці мають більший вплив деформацій та напруг ніж плющені.

Простежується вплив плющення на вихід крупної крупки, що може бути результатом більшого порушення цілісності структури ендосперму пшениці, що і призводить до утворення більшої кількості крупної крупки. При цьому як видно із даних табл. 3.1, вихід інших продуктів залишається переважно постійним.

### 3.7. Математична формалізація інтегральних кривих

Інтегральні криві, які наведено на рис. 3,5 можуть бути описані рівняннями другої степені загального виду

$$B_{\phi} = ad^2bd + c \quad (3.3)$$

де  $B_{\phi}$  – інтегральний вихід фракції, %;  $d$  – розмір частинок, мкм;  $a$ ,  $b$ ,  $c$  – експериментальні коефіцієнти.

Крива 1, яка описує інтегральну характеристику крупності проміжних продуктів подрібнення після I драної системи без попереднього плющення зерна пшениці описується наступним рівнянням:

$$B_{\phi} = -0,000126d^2 + 0,2294d - 6,419 \quad (3.4)$$

Крива 2, яка описує інтегральну характеристику крупності проміжних продуктів подрібнення після I драної системи із попереднім плющенням зерна пшениці (відстань між вальцями 0,4 мм) описується рівнянням:

$$B_{\phi} = -0,0000993d^2 + 0,2072d - 6,661 \quad (3.5)$$

Крива 3, яка описує інтегральну характеристику крупності проміжних продуктів подрібнення після I драної системи із попереднім плющенням зерна пшениці (відстань між вальцями 0,8 мм) описується рівнянням:

$$B_{\phi} = -0,0000991d^2 + 0,2064d - 5,789 \quad (3.6)$$

Крива 4, яка описує інтегральну характеристику крупності проміжних продуктів подрібнення після I драної системи із попереднім плющенням зерна пшениці (відстань між вальцями 1,2 мм) описується рівнянням:

$$B_{\phi} = -0,0001008d^2 + 0,2072d - 5,620 \quad (3.7)$$

Крива 5, яка описує інтегральну характеристику крупності проміжних продуктів подрібнення після I драної системи із попереднім плющенням зерна пшениці (відстань між вальцями 1,6 мм) описується рівнянням:

$$B_{\phi} = -0,0001104d^2 + 0,2166d - 6,598 \quad (3.8)$$

В табл. 3.2 наведено стандартні відхилення та коефіцієнти кореляції отриманих рівнянь.

Таблиця 3.2 – Стандартні відхилення та коефіцієнти кореляції рівнянь

Рівняння	Стандартне відхилення, S	Коефіцієнт детермінації, R <sup>2</sup>
3.4	3,91	0.992
3.5	3,01	0.995
3.6	3,32	0.994
3.7	3,48	0.993
3.8	3,28	0.994

Із даних табл. 3.2 видно, що відхилення від середнього значення коливається в межах від 3,01 до 3,91. Коефіцієнти детермінації знаходяться в межах не менше 0,99, що свідчить сильний зв'язок досліджуваних ознак.

На рис. 3.6 показано апроксимацію експериментальних даних поліномом другої степені (крива 1).

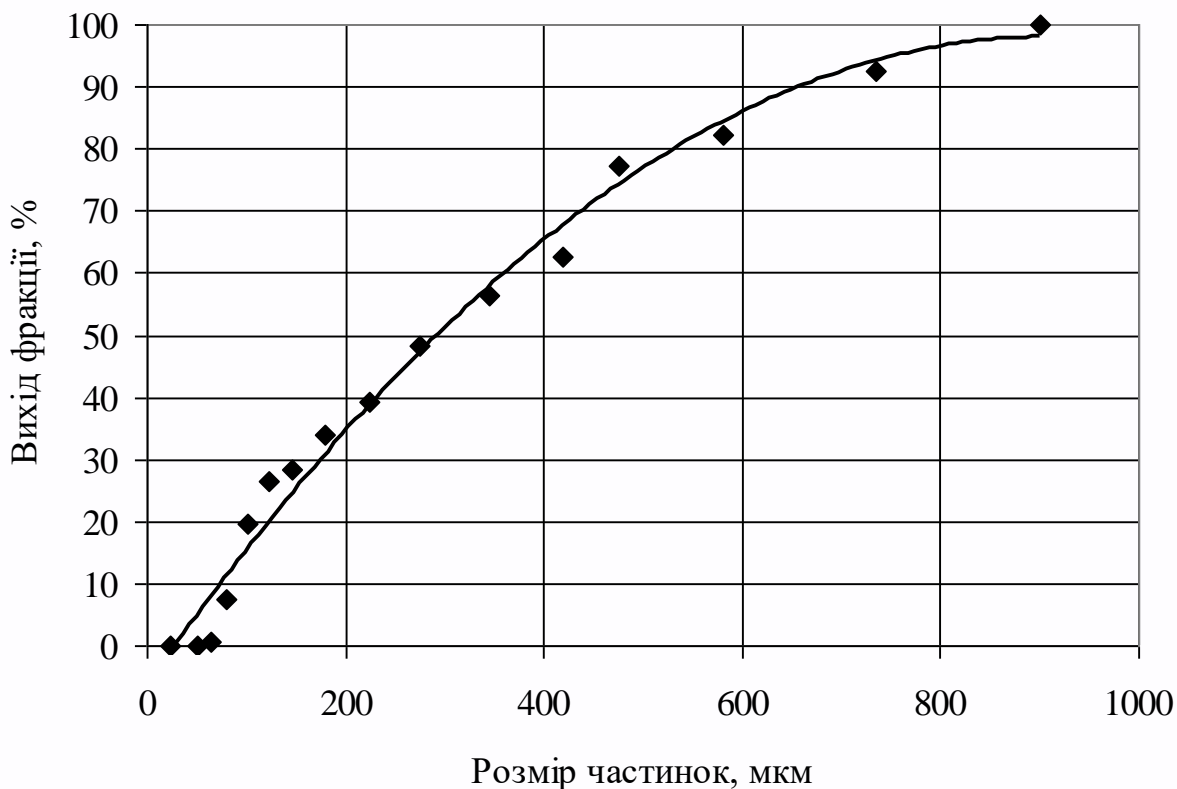


Рис. 3.6. Апроксимація експериментальних даних поліномом другої степені (крива 1).

Дослідженнями встановлено, що інтегральні криві краще всього описуються поліномами другої степені в діапазоні розмірів частинок від 100 до 1000 мкм. Формули Годена-Андрєєва, Розіна-Раммлера та Авдєєва Н.Я. мають більші залишкові дисперсії ніж квадратні рівняння і в даній роботі не приводяться.

### **3.7. Висновки до розділу 3**

1. Дослідженнями встановлено, що вихід борошнистих продуктів після плющильного верстату підкоряється криволінійній залежності, яка описується рівнянням А.В. Панченко.

2. При виділенні борошнистих продуктів після плющення і перед подачею продуктів на I драну систему загальний добуток змінюється за зростаючою криволінійною залежністю, при чому існує точка екстремуму в межах 1.4 мм. За цієї величини відстані між вальцями загальний добуток після I драної системи становить 47,2 %. Але при подрібненні цілого зерна загальний добуток в середньому на 2,0 % більше.

3. При направленні продуктів плющення без виділення борошнистих продуктів загальний добуток проміжних продуктів подрібнення має складну нелінійну залежність. При подрібненні плющеного зерна без відбору борошнистих продуктів після плющення загальний добуток продуктів подрібнення має той самий порядок величини, які і при подрібненні пшениці з якої здійснено відбір борошнистих продуктів.

4. Аналіз гранулометричних характеристик показав, що вихід окремих фракцій продуктів подрібнення є складним і не підкоряється нормальному закону розподілу.

5. Аналіз виходу круподунстових продуктів при усіх режимах подрібнення на I драній системі показав, що плющення створює найбільше на вихід крупної крупки. Решта проміжних продуктів суттєво не змінюється.

6. Математичний аналіз показав, оптимальним режимом плющення зерна пшениці є величина зазору між вальцями 1,4 мм. При такому зазорі між вальцями плющильного верстату вихід борошнистих частинок становить не більше 4,0 %.

7. Для організації технологічного процесу борошномельного виробництва, відбір борошнистих частинок перед I драною системою не впливає на ефективність подрібнення зерна пшениці на I драній системі.

8. Інтегральні криві виходу проміжних продуктів подрібнення добре описуються квадратними рівняннями.

## РОЗДІЛ 4. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

### 4.1. Наукове обґрунтування схеми помелу зерна пшениці в сортове борошно

Структура складних сортових хлібопекарських помелів із розвинутим процесом збагачення включає сім процесів: драний процес; процес сортування проміжних продуктів; вимелювальний процес; процес збагачення проміжних продуктів на ситовійних системах; шліфувальний процес; розмелювальний процес; контроль борошна.

Драний процес забезпечує максимальне одержання проміжних продуктів подрібнення у вигляді крупок і дунстів, а також вимелювання оболонкових продуктів та отримання висівок

Сортування проміжних продуктів призначене для розділення отриманих на етапі первинного подрібнення зерна проміжних продуктів на однорідні за крупністю фракції у вигляді середньої, дрібної крупки, дунстів та борошна. Отримані на етапі сортування однорідні фракції проміжних продуктів направляють на системи збагачення або тонкого подрібнення продуктів відповідної якості, а борошно – на контроль.

Вимелювальний процес забезпечує максимальне виділення ендосперму (у вигляді борошна) від висівкових частинок при мінімальному їх подрібненні.

Процес збагачення проміжних продуктів на ситовійних системах забезпечує збагачення крупних, середніх і дрібних крупок з усіх етапів і систем першої та другої якості. Його застосовують для покращення якості проміжних продуктів.

Шліфувальний процес застосовують для покращення якості крупної крупки, яка відноситься тільки до продуктів першої якості, а також середньої і дрібної крупок як першої так і другої якості, що складаються із зростків.

Розмелювальний процес призначений для перетворення збагачених крупок і дунстів у борошно, а також ретельного вимелювання оболонкових продуктів.

Контроль борошна призначений для відокремлення сторонніх частинок, які могли потрапити в борошно при порушенні роботи обладнання. Відповідно до «Правил...» при застосуванні сит високої якості етап контролю борошна може бути не обов'язковим.

Крупи манні відбирають у вигляді проходових фракцій ситовійних машин, що збагачують крупні крупки, а, при необхідності, також можливе відбирання круп манних на ситовійних машинах, що збагачують середні крупки з I-ї та II-ї драних систем.

Особливістю схеми складних помелів за скороченою технологічною схемою є скорочення розмелювального процесу процесу із 11...12 систем до 5...7 систем, а також зменшення кількості ситовійних систем. Збагаченню підлягають тільки продукти першої якості, переважно крупна та середня крупки.

Основна мета драного етапу – це максимальне утворення круподунстових продуктів, у зв'язку із цим організація процесу більш складна в порівнянні із організацією етапу розмелювання. Етап розмелювання призначений для максимального подрібнення збагачених крупок і дунстів у борошно, тому і організація цього етапу простіша.

#### **4.2. Опис технологічного процесу помелу зерна пшениці в сортове борошно**

Схема помелу зерна пшениці в сортове борошно (Додаток А) включає драний, вимелювальний, сортувальний, ситовійний, шліфувальний, розмелювальний етапи, а також контроль борошна. Перед I драною системою передбачено етап плющення зерна пшениці.

Драний етап складається із чотирьох драних систем, причому третя та четверта драні системи поділяються на крупну та дрібну. Вимелювальний етап представлений двома системами, етап сортування представлений також двома системами. Етап збагачення складається із чотирьох систем. Шліфувальний етап складається із двох систем, після вальцьових верстатів передбачено встановлення деташерів для руйнування конгломератів частинок та додаткового подрібнення продуктів і покращення процесів просіювання. Розмелювальний етап складається із семи систем, причому на перших трьох системах передбачено встановлення після вальцьових верстатів ентолейторів-дисмембраторів ЕСМ-1,5, а після вальцьових верстатів решти розмельних систем передбачено встановлення деташетів. Контроль борошна представлений двома системами. Остання розмелювальна система зроблена із мікросорохуватими вальцями для меншого подрібнення оболонки, що дає можливість покращити якість борошна на цій системі.

Плющене зерно пшениці подається на вальцьовий верстат I драної системи. З вальцьового верстату I драної системи продукти подрібнення подаються всмоктуючим пневмотранспортом у розсійник, в якому відбувається їх сортування за розмірами. Перший та другий схід направляється у вальцьовий верстат II драної системи, крупна крупа, яка виділяється третім сходом направляється на першу ситовійну систему. Першим проходом виділяється суміш дрібної крупки, дунстів та борошна, яка направляється на сортувальну систему №1. Другим проходом виділяється середня крупа, яка направляється на другу сортувальну систему. На I драній системі утворюються продукти першої якості.

Продукти подрібнення II драної системи направляються всмоктуючим пневмотранспортом із вальцьового верстату у розсійник, в якому здійснюється їх сортування по крупності. Сходовий продукт, який виділяється першим сходом направляється у вальцьовий верстат III драної системи крупної. Другий схід II драної системи направляється у вальцьовий верстат III драної системи дрібної. Крупна крупа першої якості, яка

виділяється третім сходом подається на ситовійну систему №1. Першим проходом виділяється суміш дрібної крупки, дунстів та борошна, яка направляється на сортувальну систему №2. Другим проходом виділяється середня крупка, яка направляється на ситовійну систему №2.

На III драній системі крупній першим сходом виділяється продукт, який направляється на вимелювальну систему № 1. Другий схід направляється у вальцьовий верстат IV драної системи крупної. Третій схід направляється у вальцьовий верстат IV драної системи дрібної. Першим проходом виділяється борошно 1-го сорту, яке направляється на контроль борошна 1-го сорту. Другим проходом виділяється середня крупка другої якості, яка направляється на ситовійну систему №3.

На III драній системі дрібній першим сходом виділяється продукт, який направляється на вимелювальну систему № 1. Другий схід направляється у вальцьовий верстат IV драної системи крупної. Третій схід направляється у вальцьовий верстат IV драної системи дрібної. Першим проходом виділяється борошно 1-го сорту, яке направляється на контроль борошна 1-го сорту. Другим проходом виділяється середня крупка другої якості, яка направляється на ситовійну систему №3.

На IV драній системі як крупній так і дрібній перший та другий схід направляється на вимелювальну систему №2. Третій схід подається у вальцьовий верстат 6-ї розмелювальної системи. Першим та другим проходом отримують борошно першого сорту, яке направляється на контроль.

Вимелювання оболонкових продуктів починається із першого сходу III драної системи крупної та дрібної. Схід вимелювальної системи №1 направляється у вальцьовий верстат IV драної системи крупної, а прохід у вальцьовий верстат 7 розмелювальної системи. Схід вимелювальної системи №2 направляється у висівки, пройшовши перед цим зважування. Прохід другої вимелювальної системи направляється у вальцьовий верстат 7 розмелювальної системи.

Сортувальна система №1 обробляє продукти I драної системи – першої якості. Перший схід направляється у вальцовий верстат 3 розмелювальної системи, другим сходом виділяється дрібна крупка, яка направляється на ситовійну систему №4. Першим сходом виділяється борошно вищого сорту, яке направляється на контроль, другий прохід розсійника направляється у вальцовий верстат 1-ї розмелювальної системи.

Сортувальна система №2 обробляє продукти II драної системи, які також є продуктами першої якості. Перший схід направляється у вальцовий верстат 3 розмелювальної системи, другим сходом виділяється дрібна крупка, яка направляється на ситовійну систему №4. Першим сходом виділяється борошно вищого сорту, яке направляється на контроль, другий прохід розсійника направляється у вальцовий верстат 1-ї розмелювальної системи.

В ситовійному процесі здійснюється виділення оболонки, зростків оболонки та ендосперму, а також збагачених частинок ендосперму, які направляються на розмелювальний етап. Першим сходом ситовійної системи №1 виділяється оболонка, яка направляється у вальцовий верстат III драної системи дрібної. Другим та третім сходом, а також другим проходом виділяються зростки, які направляються у вальцовий верстат 1-ї шліфувальної системи. Першим проходом виділяються збагачені крупки, які направляються у вальцовий верстат 1-ї розмелювальної системи.

Перший схід ситовійної системи №2 направляється у вальцовий верстат III драної системи дрібної. Другим та третім сходом, а також другим проходом виділяються зростки, які направляються у вальцовий верстат 1-ї шліфувальної системи. Першим проходом виділяються збагачені крупки, які направляються у вальцовий верстат 1-ї розмелювальної системи.

Перший схід ситовійної системи №3 направляється у вальцовий верстат IV драної системи крупної. Другий та третій схід, а також другий прохід направляються у вальцовий верстат 2-ї шліфувальної системи.

Перший прохід направляється у вальцьовий верстат 1-ї розмелювальної системи.

Перший та другий схід ситовійної системи №4 направляється у вальцьовий верстат III драної дрібної. Третій схід та другий прохід направляються у вальцьовий верстат 2-ї шліфувальної системи.

Відповідно до технологічної схеми помелу усі перші проходи ситовійних систем направлені на 1-у розмелювальну систему для максимального завантаження систем першої якості.

Перший схід 1-ї шліфувальної системи направляється у вальцьовий верстат III драної системи дрібної. Другий схід направляється у вальцьовий верстат 2-ї шліфувальної системи. Третій схід та другий прохід відповідно направляються у вальцьові верстати 1-ї та 2-ї розмелювальних систем. Першим проходом отримують борошно вищого сорту, яке направляють на контроль.

Перший схід 2-ї шліфувальної системи направляється у вальцьовий верстат IV драної системи дрібної, а другий схід направляється у вальцьовий верстат 5-ї розмелювальної системи. Першим проходом виділяється борошно вищого сорту, яке направляється на контроль, а другий прохід направляється у вальцьовий верстат 2-ї розмелювальної системи.

1-а розмелювальна система є найбільш завантаженою серед систем етапу розмелювання. Першим сходом виділяються сходові високо зольні продукти, які направляються у вальцьовий верстат 4 розмелювальної системи, яка є сходовою. Другий схід направляється у вальцьовий верстат 2-ї розмелювальної системи. Першим та другим проходом отримують борошно вищого сорту, яке направляють на контроль.

Першим сходом 2-ї розмелювальної системи виділяються сходові продукти, які направляються у вальцьовий верстат 4 розмелювальної системи. Другий схід направляється у вальцьовий верстат 3-ї розмелювальної системи. Першим та другим проходом отримують борошно вищого сорту, яке направляють на контроль.

Першим сходом 3-ї розмелювальної системи виділяються сходові продукти, які направляються також у вальцьовий верстат 4 розмелювальної системи. Другий схід направляється у вальцьовий верстат 5-ї розмелювальної системи. Першим та другим проходом отримують борошно вищого сорту, яке направляють на контроль.

На 4-й розмелювальній системі першим сходом виділяють зародок, другий схід направляють у вальцьовий верстат IV драної системи дрібної. Третій схід направляється у вальцьовий верстат 5-ї розмелювальної системи. Першим та другим проходом отримують борошно вищого сорту, яке направляють на контроль.

Перший та другий схід 5-ї розмелювальної системи направляється у вальцьовий верстат 6-ї розмелювальної системи. Першим та другим проходом отримують борошно першого сорту, яке направляється на контроль.

Перший та другий схід 6-ї розмелювальної системи направляється у вальцьовий верстат 7-ї розмелювальної системи. Першим та другим проходом отримують борошно першого сорту, яке направляється на контроль.

Першим та другим сходом 7-ї розмелювальної системи отримують висівки, які направляють на зважування, а потім у бункери готової продукції. Першим та другим проходом отримують борошно першого сорту, яке направляється на контроль.

Для оперативного регулювання якості борошна вищого та першого сорту, усі потоки борошна направляються на збірні гвинтові транспортери, перед якими передбачено встановлення перекидних двохходових клапанів, що дозволяють оперативно направляти потоки борошна у вищий або перший сорт, таким чином покращуючи або навпаки зменшуючи якість борошна в залежності від потреби якості борошна.

### 4.3. Розрахунок вальцових верстатів

Кількість вальцових верстатів розраховується на основі кількісного балансу помелу. Загальне питоме навантаження на вальцову лінію розраховується за формулою:

$$q_{в.с} = \frac{Q_{р.в} \cdot 1000}{L_{заг}} \quad (4.1)$$

де,  $Q_{р.в}$  – продуктивність розмелювального відділення, т/добу;  $L_{заг}$  – загальна довжина вальцової лінії, см.

На основі кількісного балансу, розрахунок кількості вальцових верстатів наведено в табл. 4.1.

Відповідно до розрахунку для здійснення помелу зерна пшениці в борошно необхідно встановити 11 вальцових верстатів із типорозміром вальців 1000 × 250 мм. Питоме навантаження на вальцову лінію буде становити:

$$q_{в.с} = \frac{150 \cdot 1000}{2200} = 68,1 \text{ кг/см} \cdot \text{добу}$$

Відповідно до «Правил організації і ведення технологічного процесу на борошномельних заводах» питоме навантаження на вальцову лінію при використанні вальцових верстатів А1-БЗН становить 65...75 кг/см·добу.

Таблиця 4.1 – Розрахунок вальцової лінії

Система	Балансове навантаження на систему		Нормативне навантаження на 1 см довжини вальцової лінії, кг/см·добу	Довжина вальцової лінії, см		Кількість верстатів, шт	Типорозмір	Фактичне навантаження на 1 см довжини вальцової лінії, кг/см·добу
	%	кг/добу		розрахункова	фактична			
Пл.с.	100	150000,0	900	166,7	200	1,0	1000×250	750
I др.с.	100	150000,0	800	187,5	200	1,0	1000×250	750
II др.с.	60,1	90105,0	600	150,2	200	1,0	1000×250	451
III др.с.кр	18,2	27252,0	450	60,6	100	0,5	1000×250	273

Продовження таблиці 4.1

III др.с.др	17,1	25708,0	450	57,1	100	0,5	1000×250	257
IV др.с.кр	13,4	20157,7	300	67,2	100	0,5	1000×250	202
IV др.с.др	9,9	14920,1	300	49,7	100	0,5	1000×250	149
1 шл.с.	16,2	24350,5	250	97,4	100	0,5	1000×250	244
2 шл.с.	8,7	13121,7	250	52,5	100	0,5	1000×250	131
1 р.с.	45,1	67671,6	250	270,7	300	1,5	1000×250	226
2 р.с.	25,9	38798,0	250	155,2	200	1,0	1000×250	194
3 р.с.	16,1	24092,0	250	96,4	100	0,5	1000×250	241
4 р.с.	12,3	18460,8	200	92,3	100	0,5	1000×250	185
5 р.с.	15,1	22628,5	200	113,1	100	0,5	1000×250	226
6 р.с.	10,9	16416,9	200	82,1	100	0,5	1000×250	164
7 р.с.	12,4	18562,6	180	103,1	100	0,5	1000×250	186
						11,0		

#### 4.4. Розрахунок просіюючої поверхні розсійників

Розрахунок просіюючої поверхні розсійників здійснюється на основі балансу помелу та просіюючої поверхні прийнятих в проєкті розсійників. Перед розрахунком просіюючої поверхні розсійників проводять розрахунок по кожній окремій системі питомого нормативного навантаження за формулою:

$$T = \frac{q_c \cdot K}{S_p} \quad (4.2)$$

де,  $q_c$  – продуктивність однієї секції розсійника, кг/добу;  $K$  – кількість секцій розсійника, шт.;  $S_p$  – площа просіюючої поверхні розсійника, м<sup>2</sup>.

Розрахунок просіюючої поверхні розсійників РШХ-6-22 наведено в табл. 4.2. Площа просіюючої поверхні одного розсійника становить 32,45 м<sup>2</sup>, площа просіюючої поверхні однієї секції розсійника становить – 5,4 м<sup>2</sup>.

Таблиця 4.2 – Розрахунок просіюючої поверхні

Система	Балансове навантаження на систему		Нормативне навантаження на 1 м <sup>2</sup> просіювальної поверхні, кг/м <sup>2</sup> ·добу	Просіювальна поверхня, м <sup>2</sup>		Кількість секцій у розсійнику	Фактичне навантаження на 1 м <sup>2</sup> просіювальної поверхні, кг/м <sup>2</sup> ·добу
	%	кг/добу		розрахункова	фактична		
I др.с.	100	150000,0	14791,9	10,1	10,8	2	13888,9
II др.с.	60,1	90105,0	11093,9	8,1	10,8	2	8343,1
III др.с.кр	18,2	27252,0	5546,9	4,9	5,4	1	5046,7
III др.с.др	17,1	25708,0	5546,9	4,6	5,4	1	4760,7
IV др.с.кр	13,4	20157,7	3882,8	5,2	5,4	1	3732,9
IV др.с.др	9,9	14920,1	3697,9	4,0	5,4	1	2763,0
СОРТ 1	14,1	21105,0	4622,4	4,6	5,4	1	3908,3
СОРТ 2	12,9	19300,5	4622,4	4,2	5,4	1	3574,2
1 шл.с.	16,2	24350,5	4622,4	5,3	5,4	1	4509,4
2 шл.с.	8,7	13121,7	4622,4	2,8	5,4	1	2429,9
1 р.с.	45,1	67671,6	4622,4	14,6	16,2	3	4177,3
2 р.с.	25,9	38798,0	7395,9	5,2	5,4	1	7184,8
3 р.с.	16,1	24092,0	4622,4	5,2	5,4	1	4461,5
4 р.с.	12,3	18460,8	3697,9	5,0	5,4	1	3418,7
5 р.с.	15,1	22628,5	4622,4	4,9	5,4	1	4190,5
6 р.с.	10,9	16416,9	3697,9	4,4	5,4	1	3040,2
7 р.с.	12,4	18562,6	3697,9	5,0	5,4	1	3437,5
К.В.С	55,2	82769,3	8320,4	9,9	10,8	2	7663,8
К.1.С	20,5	30792,4	6471,4	4,8	5,4	1	5702,3
					129,6	24	

Середнє питоме навантаження на 1 м<sup>2</sup> просіюючої поверхні, кг/(м<sup>2</sup>·добу), визначають за формулою:

$$q_p = \frac{Q_{p.в} \cdot 1000}{S_{заг}} \quad (4.3)$$

де,  $Q_{p.в}$  – продуктивність розмелювального відділення, т/добу;  $S_{заг}$  – загальна площа просіюючої поверхні розсійників, м<sup>2</sup>.

$$q_p = \frac{150 \cdot 1000}{129,6} = 1157,4 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{добу}$$

#### 4.5. Розрахунок ситовійних машин

Необхідну кількість ситовійних машин для збагачення проміжних продуктів подрібнення визначають, використовуючи нормативні навантаження на 1 см ширини приймального сита. Ширина приймального сита однієї половини ситовійної машини становить 40 см. Розрахунок кількості ситовійних машин наведено в табл. 4.3.

Таблиця 4.3 – Розрахунок просіюючої поверхні ситовійних машин

Система	Балансове навантаження на систему		Нормативне навантаження на 1 см ширини приймального сита, кг/добу	Ширина приймального сита, см		Кількість ситовійних машин, шт.
	%	кг/добу		розрахункова	фактична	
B1	24,9	37355,4	700	53,4	40	0,5
B2	20,9	31361,2	600	52,3	40	0,5
B3	9,1	13579,1	600	22,6	40	0,5
B4	9,3	13876,5	400	34,7	40	0,5
					160	2

Питоме навантаження на просіюючу поверхню ситовійних машин можна визначити за формулою 4.3.

$$q_p = \frac{150 \cdot 1000}{160} = 937,5 \text{ кг/см} \cdot \text{добу}$$

#### 4.6. Розрахунок вимелювальних машин, ентолейторів та деташерів

Кількість вимелювальних машин, ентолейторів та деташерів, шт., розраховують за формулою:

$$n = \frac{Q_{p.c.} \cdot a_b}{100 \cdot q_m} \quad (4.4)$$

де,  $a_b$  – навантаження на систему за балансом, %;  $q_m$  – продуктивність машини, т/добу.

Відповідно до технологічної схеми розмелювального відділення вимелювальний процес представлено двома системами. На перших трьох розмелювальних системах використано ентолейтори ЕСМ-1,5, а на шліфувальних та інших розмелювальних системах застосовано деташери А1-БДГ.

Кількість вимелювальних машин першого проходу (БМ №1) становить:

$$n = \frac{150 \cdot 7,5}{100 \cdot 38,4} = \frac{1125}{3840} \approx 1 \text{ машина}$$

Кількість вимелювальних машин другого проходу (БМ №2) становить:

$$n = \frac{150 \cdot 21,2}{100 \cdot 38,4} = \frac{3180}{3840} \approx 1 \text{ машина}$$

Ентолейтори встановлюються в матеріалопроводи всмоктуючого пневмотранспорту. Один матеріалопровід обслуговує одну половину вальцьового верстата, тому кількість ентолейторів буде дорівнювати кількості половинок вальцьових верстатів. Відповідно до технологічної схеми помелу, на перших трьох розмелювальних системах використано 3 вальцьових верстата або 6 половинок верстатів, тому кількість ентолейторів буде становити також 6 ентолейторів. Розподіл ентолейторів по системах наведено в табл. 4.4.

Таблиця 4.4 – Розподіл ентолейторів на розмелювальних системах

Система	Кількість ентолейторів на системі, шт.
1 р.с.	3
2 р.с.	2
3 р.с.	1
Всього	6

Продуктивність деташерів А1-БДГ становить 0,4...0,6 т/год або 9,6...14,4 т/добу.

Кількість деташерів на 1-й шліфувальній системі становить:

$$n = \frac{150 \cdot 16,2}{100 \cdot 14,4} = \frac{2430}{1440} = 1,68 \approx 2 \text{ деташери}$$

Кількість деташерів на 2-й шліфувальній системі становить:

$$n = \frac{150 \cdot 8,7}{100 \cdot 14,4} = \frac{1305}{1440} \approx 1 \text{ деташер}$$

Кількість деташерів на 4-й розмелювальній системі становить:

$$n = \frac{150 \cdot 12,3}{100 \cdot 14,4} = \frac{1845}{1440} = 1,28 \approx 2 \text{ деташери}$$

Кількість деташерів на 5-й розмелювальній системі становить:

$$n = \frac{150 \cdot 15,1}{100 \cdot 14,4} = \frac{2265}{1440} = 1,57 \approx 2 \text{ деташери}$$

Кількість деташерів на 6-й розмелювальній системі становить:

$$n = \frac{150 \cdot 10,9}{100 \cdot 14,4} = \frac{1635}{1440} = 1,1 \approx 1 \text{ деташер}$$

Кількість деташерів на 7-й розмелювальній системі становить:

$$n = \frac{150 \cdot 12,4}{100 \cdot 14,4} = \frac{1860}{1440} = 1,29 \approx 2 \text{ деташери}$$

Таблиця 4.5 – Розподіл деташерів по системам технологічного процесу

Система	Кількість деташерів на системі, шт.
1 шл.с.	2
2 шл.с.	1
4 р.с.	2
5 р.с.	2
6 р.с.	1
7 р.с.	2
Всього	10

#### 4.7. Проектування кількісно-якісного балансу помелу

Баланс помелу являє собою рівність кількісно-якісних показників продукту, що надходить на окрему систему, етап технологічного процесу або весь технологічний процес, і продуктів, що виходять з тієї самої системи, етапу або всього технологічного процесу. Кількісно-якісний баланс помелу відображає баланси окремих систем помелу, розподіл проміжних продуктів по системах у відсотках, а також режим роботи відповідної системи і містить інформацію про зольність всіх продуктів.

##### Проектування кількісного балансу помелу

Кількісний баланс помелу подають у вигляді таблиці ( Додаток В ), в яку вносять всі системи розробленої технологічної схеми.

Проти кожної системи записують кількість продукту, що надходить і виходить у відсотках до маси зерна, що надходить на I драну систему.

Складання кількісного балансу починають з драного процесу. Кількість зерна, що надходить на плющильну систему, а також на I драну систему, фактично дорівнює 100 % при базисних кондиціях зерна. У межах рекомендованих режимів подрібнення (для кожного виду помелу рекомендовані «Правилами ...») задаються загальним добутком на окремих системах процесу по відношенню, до маси зерна на I драній системі.

##### Проектування якісного балансу помелу

В основу проектування якісного балансу покладено рівність між кількістю умовних одиниць золи зерна (золівідсотків), що надходить на I драну систему, та сумарною кількістю умовних одиниць золи борошна всіх сортів та висівок, отриманих у процесі перероблення зерна.

$$AZ_3 = a_o z_o + a_c z_c + a_{вис} z_{вис} \quad (4.5)$$

де,  $A$ ,  $a_{в.с.}$ ,  $a_{1с.}$ ,  $a_{вис}$  - відповідно кількість зерна, борошна вищого сорту, борошна першого сорту та висівок, %;  $Z_3$ ,  $z_{в.с.}$ ,  $z_{1с.}$ ,  $z_{вис}$  - відповідно зольність зерна, борошна вищого сорту, борошна першого сорту та висівок, %.

Під час розроблення якісного балансу складають баланс (в умовних одиницях золи) за кожним видом готової продукції, використовуючи дані кількісного балансу.

Знаючи з характеристики сировини зольність зерна, що надходить на перероблення, визначають зольність висівок, % за формулою:

$$z_{вис} = \frac{A_3 Z_3 - (a_{в.с.} z_{в.с.} + a_{1с.} z_{1с.})}{a_{вис}} \quad (4.6)$$

Проведемо розрахунок якісного балансу готової продукції:

$$z_{вис} = \frac{100 \cdot 1,89 - (55 \cdot 0,55 + 20 \cdot 0,75)}{25} = \frac{189 - (30,25 + 15)}{25} = \frac{189 - 45,25}{25} = 5,75 \%$$

Зольність зерна помельної партії становить 1,89 %. Складемо розрахунковий кількісно-якісний баланс зольності зерна та готової продукції:

$$100 \cdot 1,89 = 55 \cdot 0,55 + 20 \cdot 0,75 + 25 \cdot 5,75$$

$$189 = 30,25 + 15 + 143,75$$

$$189 = 189$$

Отже, розрахунковий баланс зольності зерна і продуктів помелу рівний.

#### 4.8. Висновки до розділу 4

1. Розроблено та описано схему на виробництво борошна продуктивністю 150 т/добу з передбаченим етапом плющення перед I драною системою.

2. Розраховане обладнання на дану потужність та складений кількісний та якісний баланс.

## РОЗДІЛ 5. СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ

### 5.1. Соціальна ефективність роботи

Соціальна ефективність роботи полягає в наступному:

1. Попереднє руйнування зерна (плющення) прискорює процес, оскільки полегшує роботу I драної системи.
2. При плющенні зерна утворюються макро- та мікротріщини, що послаблюють міцність зерна та зменшують навантаження на I дану систему.
3. Так як розмір зерна змінюється, то відбувається зменшення виходу борошна, але круподунстові продукти збільшуються.

### 5.2. Розрахунок економічної ефективності

Проектна потужність борошномельного заводу становить 150 т/добу або 45705 т/рік.

Загальний вихід борошна до впровадження удосконаленої технології виробництва становить 77,33 %. Вихід борошна вищого сорту – 57,06 %; першого сорту – 20,27 %; вихід висівок – 22,67 %.

Підприємство працює 24 год на добу, 305 діб на рік.

Таблиця 5.1 - Вихід після впровадження удосконаленої технології

Відстань між вальцями плющильної системи, см.	Вихід борошна вищого сорту, %.	Вихід борошна першого сорту, %.	Загальний вихід борошна, %.	Вихід висівок, %.
0,4	56,21	21,34	77,55	22,45
0,8	56,24	21,32	77,56	22,34
1,2	57,53	22,9	80,43	19,7
1,6	58,33	22,8	81,13	18,67

Вихід борошна у натуральних одиницях,  $B_n$ , розрахуємо за формулою:

$$B_n = Q_\phi \cdot B \quad (5.1)$$

де,  $Q_\phi$  – фактична потужність підприємства, т/добу;

$B$  – вихід борошна в абсолютних одиницях.

Загальний вихід борошна до впровадження буде складати:

$$B_{\text{заг}} = 150 \cdot 0,7733 = 115,995 \text{ т/добу або } 3479,85 \text{ т на місяць}$$

Загальний вихід борошна після впровадження при відстані між вальцями 0,4мм плющильної системи буде складати:

$$B_{\text{заг}} = 150 \cdot 0,7755 = 116,325 \text{ т/добу або } 3489,75 \text{ т на місяць}$$

Загальний вихід борошна після впровадження при відстані між вальцями 0,8мм плющильної системи буде складати:

$$B_{\text{заг}} = 150 \cdot 0,7756 = 116,34 \text{ т/добу або } 3490,2 \text{ т на місяць}$$

Загальний вихід борошна після впровадження при відстані між вальцями 1,2мм плющильної системи буде складати:

$$B_{\text{заг}} = 150 \cdot 0,8043 = 120,645 \text{ т/добу або } 3619,35 \text{ т на місяць}$$

Загальний вихід борошна після впровадження при відстані між вальцями 1,6мм плющильної системи буде складати:

$$B_{\text{заг}} = 150 \cdot 0,8113 = 121,695 \text{ т/добу або } 3650,85 \text{ т на місяць}$$

Вихід борошна вищого сорту до впровадження буде складати:

$$B_{\text{заг}} = 150 \cdot 0,5706 = 85,59 \text{ т/добу або } 2567,7 \text{ т на місяць}$$

Вихід борошна вищого сорту після впровадження при відстані між вальцями 0,4мм плющильної системи буде складати:

$$B_{\text{заг}} = 150 \cdot 0,5621 = 84,315 \text{ т/добу або } 2529,45 \text{ т на місяць}$$

Вихід борошна вищого сорту після впровадження при відстані між вальцями 0,8мм плющильної системи буде складати:

$$B_{\text{заг}} = 150 \cdot 0,5624 = 84,36 \text{ т/добу або } 2530,8 \text{ т на місяць}$$

Вихід борошна вищого сорту після впровадження при відстані між вальцями 1,2мм плющильної системи буде складати:

$$B_{zag} = 150 \cdot 0,5753 = 86,295 \text{ т/добу або } 2588,85 \text{ т на місяць}$$

Вихід борошна вищого сорту після впровадження при відстані між вальцями 1,6мм плющильної системи буде складати:

$$B_{zag} = 150 \cdot 0,5833 = 87,495 \text{ т/добу або } 2624,85 \text{ т на місяць}$$

Додатковий вихід борошна вищого сорту у натуральних одиницях визначаємо як різницю виходів борошна після впровадження удосконаленої технології та виходів борошна до впровадження удосконаленої технології.

$$0,4: \Delta V_{\text{б.в.с.}} = 2529,45 - 2567,7 = -38,25 \text{ т на місяць.}$$

$$0,8: \Delta V_{\text{б.в.с.}} = 2530,8 - 2567,7 = -36,9 \text{ т на місяць.}$$

$$1,2: \Delta V_{\text{б.в.с.}} = 2588,85 - 2567,7 = 21,15 \text{ т на місяць.}$$

$$1,6: \Delta V_{\text{б.в.с.}} = 2624,85 - 2567,7 = 57,15 \text{ т на місяць.}$$

**Розрахунок прибутку.** Вартість борошна вищого сорту,  $V_{\text{б.в.с.}}$ , за даними «АПК-Інформ» на протязі грудня 2020 року становила в межах 10500 грн./т; вартість борошна першого сорту  $V_{\text{б.1.с.}}$  – 10200 грн./т; вартість пшеничних висівок  $V_{\text{вис}}$  – 5000 грн./т.

Додатковий прибуток за рахунок збільшення виходу борошна вищого сорту  $\Pi_{\text{б.в.с.}}$ , розрахуємо за формулою:

$$\Pi_{\text{б.в.с.}} = \Delta V_{\text{б.в.с.}} \times T_p \times (C_{\text{б.в.с.}} - C_{\text{б.1.с.}}) \quad (5.2)$$

де  $\Delta V$  – додатковий вихід борошна в натуральних одиницях, т;

$T_p$  – період роботи борошномельного заводу на протязі року, місяців;

$C_{\text{б.в.с.}}$ ,  $C_{\text{б.1.с.}}$  – відповідно вартість борошна вищого та першого сорту, грн/т.

Тривалість роботи,  $T_p$ , приймаємо 12 місяців.

Будемо розглядати варіант з відстанню 1,6 між вальцями плющильної системи, так як самий більший додатковий вихід борошна.

$$\Pi_{\text{б.в.с.}} = 57,15 \times 12 \times (10,5 - 10,2) = 205,74 \text{ тис. грн.}$$

Кількість переробленого зерна на протязі року з урахуванням використання технологічного удосконалення зерна буде становити:

$$150 \text{ т/добу} \times 30 \times 12 = 54000 \text{ т зерна}$$

Прибуток на 1 т переробленого зерна буде складати:

$$П = \frac{205,74}{54000} = 0,00381 \text{ тис. грн.}$$

Місячний прибуток  $П_{\text{міс}}$  буде складати:

$$П_{\text{міс}} = \frac{205,74}{12} = 17,145 \text{ тис. грн.}$$

### 5.3. Висновки до розділу 5

1. Соціальна ефективність полягає в тому, що процес плющення збільшує крупоутворення, а це впливає на показники якості та кількості готової продукції

2. Додатковий вихід борошна саме найбільше становить на відстані між вальцями плющильної системи 1,6 см це 57,15 т на місяць, що складатиме додатковим прибутком на місяць 17,145 тис.грн.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі на тему « Дослідження впливу процесу плющення на крупоутворення І драної системи » проведено експериментальну частину у лабораторії, що знаходиться на кафедрі технології зберігання і переробки зерна. Спочатку підготували сировину, це зерно пшениці, пропустили через лабораторний зерночисний сепаратор ЗЛС та аспіраційний канал. Далі визначили показники якості (вологість 13%, натуру 756,6г/л та скловидність зерна 21,3%, а також масу 1000 зерен 38,05 г). Після цього зволожили, показник вологості 14,06%. Низька вологість після зволоження пояснюється тим, що скловидне зерно погано поглинає вологу. Наступним етапом плющення. По 1 кг зразку пропускають через різну відстань між вальцями та направили після через аспіраційну колонку (що є не суттєвим та не використовується на схемі на виробництві). Далі зважили та подали на вальцьовий верстат І драної системи лабораторної установки ЛМ-2. Ця методика дослідити загальний добуток проміжних продуктів подрібнення на І драній системі та здійснити гранулометричний аналіз цих продуктів.

Дослідження показали, що після плющення утворюється більше крупної та середньої крупки, ніж без процесу плющення, що є позитивним показником, так як збільшується вихід високих сортів, бо зі зменшенням дрібної фракції полегшується вимол та не погіршується товарний вигляд. За криволінійною залежністю визначено точку екстремуму та за математичним аналізом визначено оптимальний режим плющення зерна пшениці є в межах 1,4 мм відстані між вальцями.

За період виконання кваліфікаційної роботи опубліковано тези у XIV Міжнародна науково-практична конференція магістрантів та аспірантів (Додаток Е ) та 86 Наукова конференція ( Додаток Ж).

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Айзикович, Л.Е. Технология производства пшеничной и ржаной муки / Л.Е. Айзикович, Б.Н. Хорцев. – М.: Заготиздат, 1954. – 518 с.
2. Андреев, С.Е. Закономерности измельчения и исчисление характеристик гранулометрического состава / С.Е. Андреев, В.В. Товаров, В.А. Перов. – М.: Metallurgizdat, 1959. – 437 с.
3. Грачев, Ю.П. Математические методы планирования экспериментов / Ю.П. Грачев. – М.: Пищевая промышленность, 1979. – 200 с.
4. Грачев, Ю.П. Математические методы планирования эксперимента / Ю.П. Грачев, Ю.М. Плаксин. – М.: ДеЛи принт, 2005. – 296 с.
5. Данилин, А.С. Совершенствование технологических процессов на мукомольных заводах / А.С. Данилин, А.М. Братухин. – М.: Колос, 1976. – 303 с.
6. Жигунов, Д.А. Розробка наукових основ і методів підвищення якості та розширення асортименту готової продукції на борошномельних заводах. Автореферат на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук // Д.А. Жиганов. – Одеса: ОНАХТ, 2013. – 36 с.
7. Золотарев, С.М. Проектирование мукомольно-крупяных и комбикормовых предприятий / С.М. Золотарев. – М.: Колос, 1968. – 255 с.
8. Кузнецова, Л.М. Справочник по количественно-качественному учету зерна, зернопродуктов и комбикормов / Л.М. Кузнецова. – СПб.: Профессия, 2018. – 312 с.
9. Максимчук, Б.М. Совершенствование технологи помолов пшеницы и ржи в СССР и за рубежом / Б.М. Максимчук, В.А. Сибіряков, В.А. Скрыбін, Н.Н. Костельцева, И.А. Никифорова, А.В. Сухарев // Обзорная информация, серия: Мукомольно-крупяная промышленность. – М.: ЦНИИТЭИ Минзага СССР, 1981. – 40 с.
10. Мальцев, П.М. Основы научных исследований / П.М. Мальцев, Н.А. Емельянова. – К.: Вища школа. Головное изд-во, 1982. – 192 с.

- 11.Методика проведения лабораторных помолов на мельнице типа ЛМ. – М.: ЦНИИТЭИ, 1971. – 15 с.
- 12.Мерко, И.Т. Проектирование зерноперерабатывающих предприятий с основами САПР/ И.Т. Мерко, Н.Е. Погирной, Б.В. Касьянов, А.П. Чакар. – М.: Агропромиздат, 1989. – 367 с.
- 13.Мерко, И.Т. Структура и эффективность технологических процессов производства муки / И.Т. Мерко, В.А. Моргун, Н.Е. Погирной. – М.: Колос, 1983. – 239 с.
- 14.Моргун, В.А. Ориентировочный выход круподунстовых продуктов и муки в драном процессе при различной структуре этапа крупобразования / В.А. Моргун, Д.А. Жигунов, Р.С. Давыдов // Наукові праці ОНАХТ. – Вип.. 40, Т.1. – С. 28-31.
- 15.Моргун, В.А. Сравнительный анализ некоторых структур процесса крупобразования / В.А. Моргун, Д.А. Жигунов, Р.С. Давыдов // Хранение и переработка зерна. – 2010.- №12 (138). – С. 29-33.
- 16.Наумов, И.А. Технология мукомольного производства / И.А. Наумов. – М.: Хлебоиздат, 1958. – 227 с.
- 17.Наумов, И.А. Технология мукомольного производства. Изд. 2-е, перераб. и доп. / И.А. Наумов. М.: Колос, 1968. – 303 с.
- 18.Патрин, П.А. К обоснованию параметров плющилки для влажной зерновой смеси / П.А. Патрин, В.М. Жигунов, Д.С. Рудаков, А.Д. Герасименко // Роль аграрной науки в устойчивом развитии сельских территорий: Сб. III Всероссийской (национальной) научной конф. – Новосибирск: НГАУ, 2018. – С. 642-646.
- 19.Патрин, П.А. Теоретический анализ процесса плющения зерновой смеси / П.А. Патрин, Д.С. Рудаков. Роль аграрной науки в устойчивом развитии сельских территорий: Сб. III Всероссийской (национальной) научной конф. – Новосибирск: НГАУ, 2018. – С. 646-651.

20.Сибиряков, В.А. К вопросу о предварительном разрушении (плющении) зерна пшеницы перед помолом / В.А. Сибиряков, Б.М. Максимчук, И.А. Никифорова // Труды ВНИИЗ. – 1982. - Вып. 99. – С. 51-60.

21.Сиденко, П.М. Измельчение в химической промышленности. Изд. 2-е, перераб. и доп. / П.М. Сиденко. – М.: Химия, 1977. – 368 с.

22.Сухарев, А.В. Теоретические предпосылки предварительного разрушения зерна / А.В. Сухарев, В.А. Скрябин, Б.М. Максимчук // Труды ВНИИЗ. – 1982. – Вып. 99. – С. 47-51.

23.Технологическое оборудование и поточные линии предприятий по переработке зерна / Л.А. Глебов, А.Б. Демский, В.Ф. Веденьев, А.Е. Яблоков // I и III части под ред. Л.А. Глебова, II части под ред. А.Б. Демского. – М.: ДеЛи Принт, 2010. – 696 с.

24.Технология переработки зерна (мукомольное, крупяное и комбикормовое производство) Под. ред. проф. Я.Н. Куприца. – М.: Колос, 1965. – 504 с.

25.Харченко, Є.І. Гранулометричний склад проміжних продуктів подрібнення при двоетапному подрібненні зерна пшениці в лабораторних умовах. / Є.І. Харченко, М.А. Перегуда, І.П. Шніпко // Хранение и переработка зерна. – 2015. - №6-7. – С. 62-64.

26.Харченко, Є.І. Плющення зерна пшениці в лабораторних умовах / Є.І. Харченко, М.А. Перегуда, І.С. Рубан // Хранение и переработка зерна. – 2016. - №1. – С. 58-60.

27.Шутенко, Е.И. Предварительное измельчение на заводах малой производительности / Е.И. Шутенко, Р.С. Давыдов //Зернові продукти і комбікорми. – 2014. - №2 (54). – С.22-25.

28.Щербаков, С.И. Помолы пшеницы и ржи. Изд. 2-е, перераб. и доп. / С.И Щербаков. – М.: Заготиздат, 1953. – 275 с.

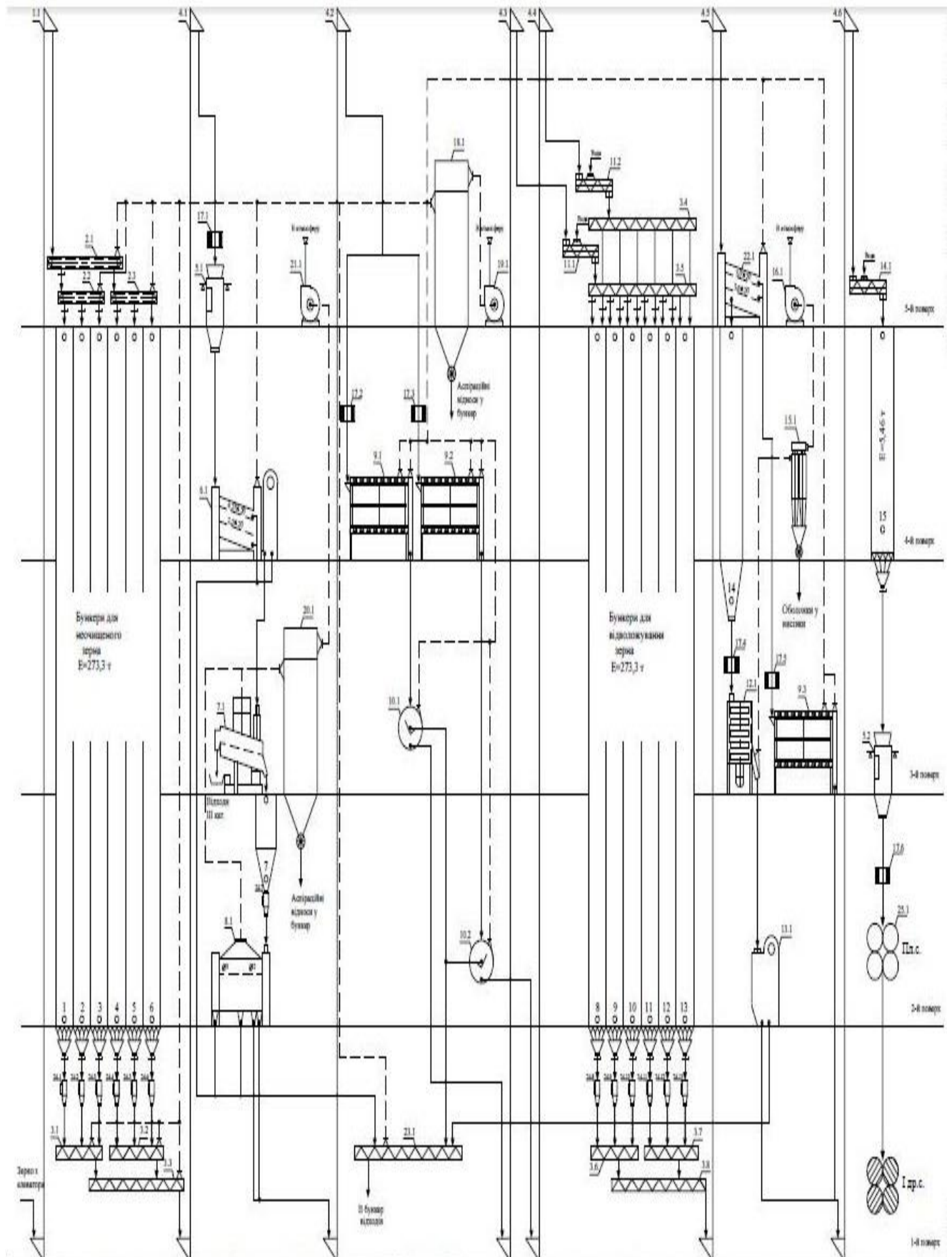
29.Campbell, G.M., Fang, C. & Muhamad, I.I. (2007). On predicting roller milling performance VI: Effect of kernel hardness and shape on the particle size

distribution from first break milling of wheat. *Food and Bioproducts Processing*, 85. – pp. 7-23.

30.Fang, C., Campbell, G.M. (2003). On predicting roller milling performance IV: Effect of roll disposition on the particle size distribution from first break milling of wheat. *Journal of Cereal Science*, 37. – pp. 21-29.

## **ДОДАТКИ**

## ДОДАТОК А. Схема підготовки зерна до помелу (зерноочисне та розмелювальне відділення млинзаводу)



## ДОДАТОК Б. Специфікація до схеми

№ п/п	Найменування та марка обладнання	Кількість шт	Примітка
1.1	Норія Н-100	1	
2.1-2.3	Транспортер ланцюговий ТСО-100	3	
3.1-3.8	Транспортер гвинтовий Ш-160	8	
4.1-4.6	Норія Н-10	6	
5.1-5.2	Ваги автоматичні ДВС-50У	2	
6.1	Сепаратор зерновий БСХ- 12 з повітряним сепаратором БСХ-100	1	
7.1	Каменевідбирник РЗ-БКТ-100	1	
8.1	Концентратор А1-БЗК-18	1	
9.1-9.3	Оббивальна машина РЗ-БГО-8А	3	
10.1-10.2	Трієр ТЦК-700	2	
11.1-11.2	Апарат інтенсивного зволоження А1-БШУ-2	2	
12.1	Дебранлер ШШМ-3,2 "Каскад-М"	1	
13.1	Повітряний сепаратор АСХ-5	1	
14.1	Апарат інтенсивного зволоження А1-БШУ-1	1	
15.1	Циклон 4БЦШ-200	1	
16.1	Вентилятор середнього тиску	1	
17.1-17.6	Магнітна колонка БМПЮ	6	
18.1	Фільтр-циклон РЦЕ-40,8-48 аспірація зерноочисного обладнання	1	
19.1	Вентилятор середнього тиску	1	
20.1	Фільтр-циклон РЦЕ-40,8-48 аспірація каменевідбирника і концентратора	1	
21.1	Вентилятор середнього тиску ВЦ-5-50-8.01	1	
22.1	Сепаратор зерноочисний БСХ-12	1	
23.1	Гвинтовий транспортер Ш-100 для відходів	1	
24.1-24.13	Пристрій витрати зерна УРЗ-2	13	
25.1	Площальний верстат А1-БЗН	1	





## ДОДАТОК Д. Специфікація до схеми

№ п/п	Найменування покликів	Одиниці виміру	Значення
1	Загальна довжина вальцьової лінії:	см	2200
2	в тому числі на плющильній системі	см	200
3	на драних системах	см	800
4	на розмелювальних системах	см	1200
5	Відношення вальцьової лінії розмелювальних систем до драних		1,2
6	Питоме навантаження на вальцьову лінію	кг/см*добу	68,1
7	Загальна просіююча поверхня розсіювачів	м <sup>2</sup>	129,6
8	в тому числі на драних системах	м <sup>2</sup>	43,2
9	на шліфувальних та розмелювальних системах	м <sup>2</sup>	70,2
10	на сортувальних системах	м <sup>2</sup>	10,8
11	на контролі борошна	м <sup>2</sup>	16,2
12	Питоме навантаження на просіюючу поверхню	кг/м <sup>2</sup> *добу	1157,4
13	Загальна просіююча поверхня ситовійних машин	см <sup>2</sup>	160
	Питоме навантаження на просіюючу поверхню	кг/см <sup>2</sup> *добу	937,5

№ п/п	Найменування обладнання	Кількість, шт.	Значення
1	Вальцьовий верстат А1-БЗ-3Н	11	
2	Розсіювач РШХ-6-22	4	
3	Ситовійна машина А1-БС2-О	2	
4	Вимелювальна машина А1-БВГ	3	
5	Віброцентрофугал РЗ-БЦА	1	
6	Магнітна колонка У1-БМП	1	
7	Енголейтор ЕСМ-1,5	5	
8	Деташер А1-БГД	6	

УДК 664.733.1

**ГРАНУЛОМЕТРИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОДУКТІВ  
ПОДРІБНЕННЯ І ДРАНОЇ СИСТЕМИ ПРИ ПОДРІБНЕННІ ПЛЮЩЕНОЇ  
ПШЕНИЦІ**

*А. С. Плющай<sup>1</sup>, Є. І. Харченко<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> магістрант кафедри технології зберігання і переробки зерна, НУХТ, Київ, Україна

<sup>2</sup> доцент кафедри технології зберігання і переробки зерна, НУХТ, Київ, Україна  
[a-537@ukr.net](mailto:a-537@ukr.net)

Процес плющення привертає все більше уваги завдяки можливості інтенсифікації процесу помелу зерна в борошно [1-4]. Давидов Р.С. [1] зробив висновки, що плющення пшениці не впливає на вихід круподунових продуктів в драному процесі. Такий висновок викликає питання, адже плющильна система та вальцовий верстат І драної системи поєднані між собою і зміна режиму плющення на плющильній системі повинна вплинути на режим подрібнення плющеного зерна пшениці у вальцовому верстаті І драної системи.

Метою даної роботи є встановлення впливу режимів плющення зерна пшениці на вихід круподунових продуктів після вальцового верстату І драної системи. На основі поставленої мети сформульовано такі задачі дослідження: провести подрібнення плющеного зерна пшениці за умови різних режимів її плющення; провести аналіз гранулометричних характеристик продуктів подрібнення.

На основі поставлених задач проведено дослідження виходу круподунових продуктів подрібнення на І драній системі при помелі плющеної пшениці, яку отримано при різних режимах плющення. Процес плющення здійснювали на лабораторному плющильному верстаті із діаметром вальців  $144,0 \pm 0,01$  мм та шириною вальців  $68,4 \pm 0,1$  мм. Швидкість обертання вальців плющильного верстату становила  $14,6 \text{ c}^{-1}$ . Режим плющення змінювали шляхом зміни відстані між вальцями від 0,4 до 1,6 мм із кроком 0,4 мм. Подрібнення плющеної пшениці здійснювали на І драній системі лабораторного млина ЛМ-2. Круподунові продукти після плющильної системи перед помелом видалялися шляхом пропускання продуктів через лабораторний аспіраційний канал. Відстань між вальцями вальцового верстату І драної системи була незмінною. Показники якості зерна для усіх серій досліджень залишались постійними.

Подрібнені продукти помелу просіювалися на наборі лабораторних сит. На основі лабораторного ситового аналізу будувалися гранулометричні характеристики у вигляді інтегральних кривих.

На основі проведених досліджень було встановлено, що режим плющення пшениці впливає на вихід круподунових продуктів після подрібнення зерна у вальцовому верстаті І драної системи. Результати досліджень наведено на рис. 1

Як видно із рис. 1, найбільший інтегральний вихід проміжних продуктів подрібнення спостерігався при помелі цілого зерна пшениці, а найменший інтегральний вихід проміжних продуктів подрібнення спостерігався при помелі плющеного зерна пшениці при відстані між вальцями плющильної системи 0,4 мм. Із цього можна зробити висновок, що зі зменшенням відстані між вальцями вихід на плющильній системі, вихід проміжних продуктів подрібнення після І драної системи зменшується за умови незмінності відстані між вальцями на І драній системі.

Зниження виходу круподунових продуктів після вальцового верстату І драної системи можна пояснити тим, що під час плющення відбувається зміна габаритних

розмірів зерен пшениці, вони деформуються (сплющуються) і це призводить до меншого впливу рифлів вальців на I драній системі.

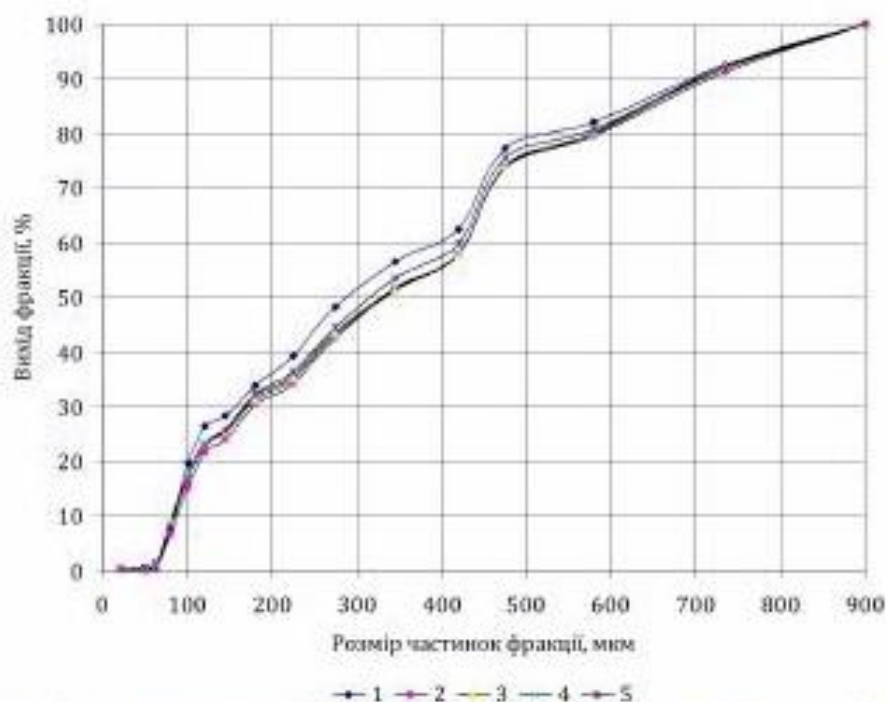


Рис. 1 - Інтегральні криві подрібнення пшениці у вальцювому верстаті I драної системи: 1 - ціле зерно; 2 - величина відстані між вальцями плушійної системи 0,4 мм; 3 - величина відстані між вальцями плушійної системи 0,8 мм; 4 - величина відстані між вальцями плушійної системи 1,2 мм; 5 - величина відстані між вальцями плушійної системи 1,6 мм;

Найбільші зміни в сторону збільшення виходу, спостерігалися для крупної та середньої крупки. Вихід дрібної крупки та дунстів залишався переважно незмінним. А вихід борошна вищого та першого сорту навпаки зменшувався для усіх режимів плушення. Вихід крупної та середньої крупки збільшувався від 2 до 4 % в порівнянні із подрібненням цілого зерна.

#### Список літератури:

1. Давыдов, Р.С. Совершенствование этапа крупобразования сортового помола пшеницы. Дис. на соиск. уч. степени, канд. техн. наук / Р. С. Давыдов. - Одесса: 2013. - 184 с.
2. Дмитрук, Є.А. Дослідження технологічної ефективності обладнання борошномельного заводу за скороченою схемою помелу / Є. А. Дмитрук, Є. І. Харченко, О. А. Чорний, О. П. Верещинський // Хранение и переработка зерна. - 2011. - №10(148). - С. 52-53.
3. Харченко, Є.І. Плушення зерна пшениці в лабораторних умовах / Є. І. Харченко, М. А. Перегуда, І. С. Рубан // Хранение и переработка зерна. - 2016. - №1. - С. 58-60.
4. Шутенко, Е.Н. Предварительное измельчение на заводах малой производительности / Е. И. Шутенко, Р. С. Давыдов // Зернові продукти і комбікорми. - 2014. - №2 (54). - С.22-25.

Секція 4. Хімічна технологія та харчова промисловість, біотехнологія і розробка корисних копалин

### 8. Вплив площення пшениці на режими подрібнення I драної системи

Аліна Пшонай, Євген Харченко

Національний університет харчових технологій, м. Київ, Україна

**Вступ.** Досліджуючи етапи крупотворення Давидов Р.С. [1] дійшов висновку, що площення зерна пшениці перед I драною системою не створює суттєво впливу на вихід круподушових продуктів. Автор [1] змінював загальний добуток подрібнення перших двох драних систем, а який режим площення був і як він впливає на загальний добуток I др.с. не вказує.

**Матеріали і методи.** Підготовлена і зволожена до 14,0 % пшениця плющилася у лабораторному площильному верстаті, відстань між вальцями якого змінювалася від 0,4 до 1,6 мм з кроком 0,4 мм. Продукти площення очищалися в лабораторному аспіраційному каналі з метою виділення борошна та інших дрібних продуктів і привести продукти площення до однакових умов. Подрібнення здійснювали на лабораторній установці ЛМ-2. Відстань між вальцями I др.с. встановлювалася 0,5 мм. Продукти подрібнення відбиралися лотком, просіювалися на ситі 1000 мкм і визначали загальний добуток продуктів подрібнення без зміни відстані між вальцями вальцювального верстата. Аналогічно проведено подрібнення шлого підготовленого зерна пшениці з метою з'ясувати загальний добуток проміжних продуктів подрібнення без проведення площення.

**Результати.** Дослідженнями встановлено, що зі збільшенням відстані між вальцями площильної системи з 0,4 до 1,6 мм загальний добуток продуктів подрібнення змінюється за криволінійною залежністю, яка описується рівнянням другого порядку:

$$D_p = -7,2656 \cdot b^2 + 20,631 \cdot b + 32,575 \quad (1)$$

де  $D_p$  – загальний добуток проміжних продуктів подрібнення після вальцювального верстата I драної системи, %,  $b$  – відстань між вальцями площильного верстата, мм.

Коефіцієнт кореляції становить 0,99, що свідчить про дуже сильний зв'язок досліджуваних ознак. Стандартне відхилення 0,051.

Крива виходу проміжних продуктів подрібнення має точку екстремуму. Продиференціювавши рівняння (1) і прирівнявши його до нуля, було визначено точку екстремуму, яка дорівнює 1,4 мм. Тобто при величині зазору між вальцями площильного верстата 1,4 мм спостерігався найбільший вихід проміжних продуктів подрібнення після вальцювального верстата I драної системи. Зі збільшенням відстані між вальцями площильної системи вихід проміжних продуктів подрібнення зменшується. Якщо зерно пшениці не проходить площення, то загальний добуток проміжних продуктів подрібнення більший за оптимальний на 3,0 % ніж при застосуванні площення, це свідчить про інший характер процесу подрібнення зерна пшениці.

**Висновки.** Результати лабораторних досліджень показують, що режим роботи площильного верстата суттєво впливає на вихід проміжних продуктів подрібнення I драної системи і найбільший вихід проміжних продуктів подрібнення у вальцювальному верстаті I др.с. відбувається при відстані між вальцями площильної системи 1,4 мм.

#### Література

1. Давидов, Р.С. Совершенствование этапа крупотворения сортового помола пшеницы. Дис. на соиск. уч. степени к. т. наук / Р.С. Давидов – Одесса, 2013. – 184 с.