

УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ САДІВНИЦТВА
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІЇ

Допускається до захисту
Завідувач кафедри
_____ Андрій ВОЙТІК
“ ” _____ 2023

ДИПЛОМНА РОБОТА
_____ магістр
(освітній ступінь)

на тему: «МОДЕРНІЗАЦІЯ МАШИНИ ДЛЯ МЕХАНІЧНОГО
ВІДОКРЕМЛЕННЯ ПОКРИВНИХ ТКАНИН ЗЕРНА ЖИТА»

Виконав: студент 2 курсу, групи 22м-ім,
спеціальність 208 «Агроінженерія»

_____ Владислав РЕВЕНКО

Керівник: _____ Олександр ПУШКА

м. Умань – 2023

УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ САДІВНИЦТВА
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІЇ

Освітній рівень _____ магістр _____
Спеціальність _____ 208 «Агроінженерія» _____
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ Андрій ВОЙТІК
“ ____ ” _____ 2023

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

_____ Ревенко Владислав Сергійович _____

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «МОДЕРНІЗАЦІЯ МАШИНИ ДЛЯ МЕХАНІЧНОГО
ВІДОКРЕМЛЕННЯ ПОКРИВНИХ ТКАНИН ЗЕРНА ЖИТА»

керівник роботи Олександр ПУШКА, к.т.н., доцент

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

затверджена наказом вищого навчального закладу від

“ 09 ” листопада 2023 № 01-06/256

2. Строк подання студентом роботи _____ 20.11.2023 _____

3. Вихідні дані до роботи: науково-технічна література; авторські свідоцтва і патенти на винаходи; результати дослідження та випробування машин для механічного відокремлення покривних тканин зерна; вимоги охорони праці; методика визначення економічного ефекту

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

Вступ

1. Стан питання та вибір напрямку досліджень
2. Методика й основні методи досліджень
3. Результати досліджень
4. Охорона праці
5. Рекомендації щодо практичної реалізації досліджень

Загальні висновки

Список використаних джерел

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): мета та задачі дипломної роботи; аналіз технологічного процесу і класифікація машин для лушення зерна; методика і основні методи досліджень; результати експериментальних досліджень; рекомендації щодо практичної реалізації результатів досліджень; загальні висновки.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Прокопенко Е.В., к.с.-г.н., доцент		
Економічне обґрунтування проекту	Пушка О.С., к.т.н., доцент		

7. Дата видачі завдання « » 2023

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	При- мітка
	Вступ	24.04.2023	
1.	Стан питання та вибір напрямку досліджень.	19.05.2023	
2.	Методика й основні методи досліджень.	23.06.2023	
3.	Результати досліджень.	15.09.2023	
4.	Охорона праці.	06.10.2023	
5.	Рекомендації щодо практичної реалізації досліджень.	03.11.2023	
	Загальні висновки	17.11.2023	
	Список використаних джерел	17.11.2023	

Студент

(підпис)Владислав РЕВЕНКО

Керівник роботи

(підпис)Олександр ПУШКА

ЗМІСТ

Реферат	6
Вступ	7
1 СТАН ПИТАННЯ ТА ВИБІР НАПРЯМУ ДОСЛІДЖЕНЬ	10
1.1. Аналіз досліджень в області лущення зерна. Енергетичні проблеми	10
1.1.1. Анатомічна будова й матеріальний баланс структури зерна	10
1.1.2. Деформаційні властивості, межі силового навантаження зерна	11
1.1.3. Способи зміни структурно-механічних властивостей зерна	13
1.2. Способи та засоби відокремлення поверхневих тканин зерна	15
1.3. Напрямки вдосконалення луцильних машин	19
Висновки за розділом 1	21
2. МЕТОДИКА Й ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ	22
2.1. Програма досліджень	22
2.2. Методика експериментальних досліджень	25
2.3. Експериментальне та контрольоване обладнання	26
Висновки за розділом 2	29
3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ	30
3.1. Аналіз результатів відокремлення покривних тканин зерна жита в абразивно-дисковій машині. Режимні параметри	30
3.2. Обґрунтування раціональних параметрів відокремлення покривних тканин зерна жита	34
3.3. Аналіз комплексного критерію ефективності лущення зерна жита	41
Висновки за розділом 3	43
4. ОХОРОНА ПРАЦІ	44
4.1. Технічний регламент та вимоги безпеки під час роботи з машинами на крупозаводах	44
4.2. Аналіз формування травмонебезпечних ситуацій під час роботи з машинами на крупозаводах	45

5. РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ ДОСЛІДЖЕНЬ	48
5.1. Практичне застосування результатів досліджень	48
5.2. Техніко-економічне обґрунтування досліджень	54
Висновки за розділом 4	57
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	58
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	59

РЕФЕРАТ

Дипломна робота виконана на тему: «МОДЕРНІЗАЦІЯ МАШИНИ ДЛЯ МЕХАНІЧНОГО ВІДОКРЕМЛЕННЯ ПОКРИВНИХ ТКАНИН ЗЕРНА ЖИТА»

Магістерська дипломна робота складається з пояснювальної записки, що містить 60 сторінок, 9 рисунків, 10 таблиць, і графічної частини у формі презентації з демонстрацією отриманих в кваліфікаційній роботі результатів на 10 слайдах.

Метою магістерської дипломної роботи є модернізація машини для відокремлення покривних тканин зерна жита шляхом інтенсифікації процесів обробки поверхні зерна.

Об'єктом дослідження магістерської дипломної роботи є технологічний процес абразивно-ударного відокремлення покривних тканин зерна жита й методів їх розрахунків.

Предметом досліджень є закономірності зміни енергетичних та якісних показників роботи машини для відокремлення покривних тканин зерна жита, що безпосередньо впливає на її конструктивні параметри.

Методи досліджень. Теоретичні дослідження процесів взаємодії, механіки переміщення, обробки й відокремлення покривних тканин зерна жита з використанням механіко-математичного моделювання на підставі основних положень вищої математики, теоретичної й аналітичної механіки, опору матеріалів та абразивної механіки.

Виробничими дослідженнями лінії лушення й виробництва круп з використанням модернізованої абразивно-дискової машини на крупозаводі встановлено стабільну працездатність комплексу при фактичній продуктивності 800 кг/год з річним економічним ефектом 1382 тис. грн.

ВСТУП

Незадовільний стан ґрунтів деяких регіонів України, зумовлений забрудненням хімічними й радіонуклідними компонентами призводить при збиранні врожаю до одержання зернової продукції сільськогосподарського виробництва із значним перевищенням у ній нормованих гранично допустимих концентрацій цих речовин. Однак, у цей час не розроблена комплексна програма освоєння і рекультивації забруднених ґрунтів, а, також, створення спеціалізованої техніки й технології переробки екологічно прийнятної по чистоті зерна в харчові продукти. Попередні дані свідчать, що в деяких регіонах України зараженість оболонок зерна в 1,5 – 2 рази більше, ніж у ядрі, у цьому сенсі необхідність розробки й застосування нової техніки й технології лущення зерна стає життєво важливою.

Одним з напрямків раціонального використання проблемного зерна є застосування нової техніки й технології обробки його поверхні із забезпеченням послідовного пошарового виробничого відокремлення покривних структур у процесі лущення в машинах безперервної дії. У зв'язку із цим попереднє високоефективне лущення, сепарування оболонок зерна злакових і інших культур набуває особливого значення і актуальності.

У ситуації, що склалася організація випуску сучасного високопродуктивного устаткування для зернопереробних підприємств, а, також, підвищення технічного рівня борошномельно-круп'яної й комбікормової промисловості на базі використання високопродуктивного обладнання й передової технології ставляться до найважливіших напрямків державної технічної політики України.

Актуальність теми. Завданнями інтенсифікації технології відокремлення покривних тканин зерна є: зниження енергетичних витрат, забезпечення екологічної безпеки високої якості крупи й комбікормів, розробка високоефективних лущильних машин. Їхній розв'язок здійснюється вдосконалюванням існуючих, розробкою нових комплексних способів, засобів,

режимів обробки зерна. Однак, можливості зниження енерговитрат, підвищення якості луцення не вичерпані – тут є ряд невикористаних резервів.

Основний резерв зниження енерговитрат слід шукати в поєднанні абразивного відокремлення оболонок з конструктивними параметрами луцильної машини. Застосування комплексних зернопереробних систем дозволить усунути ефект самозараження (ефект сухого змащення) луцильних машин і, тим самим, організувати й забезпечити рівномірну обробку поверхні зерна, екологічну чистоту крупи.

Розробка луцильних машин дозволить вирішувати проблеми зниження енергетичних витрат, екологічної безпеки. У цьому сенсі, розвиток наукових принципів про механізм абразивного луцення, створення на їхній основі методик обґрунтування раціональних режимних і конструктивних параметрів луцильних машин є доцільним і актуальним.

Мета і завдання дослідження – модернізація машини для відокремлення покривних тканин зерна жита шляхом інтенсифікації процесів обробки поверхні зерна.

Для досягнення поставленої мети необхідно:

- виявити резерви модернізації машини для відокремлення покривних тканин зерна жита;
- розробити математичні моделі абразивної обробки зерна в машині для відокремлення покривних тканин зерна жита;
- провести дослідження механіки переміщення, обробки й відокремлення покривних тканин зерна жита;
- обґрунтувати структурні схеми, раціональні конструктивні й технологічні параметри модернізованої машини для відокремлення покривних тканин зерна жита по енергетичних і технологічних показниках.

Об'єкт дослідження: технологічний процес абразивно-ударного відокремлення покривних тканин зерна жита й методів їх розрахунків.

Предмет досліджень: закономірності зміни енергетичних та якісних показників роботи машини для відокремлення покривних тканин зерна жита, що безпосередньо впливає на її конструктивні параметри.

Методи досліджень: Теоретичні дослідження процесів взаємодії, механіки переміщення, обробки й відокремлення покривних тканин зерна жита з використанням механіко-математичного моделювання на підставі основних положень вищої математики, теоретичної й аналітичної механіки, опору матеріалів та абразивної механіки. Отримані дані оброблялися методами математичного аналізу та статистики.

1. СТАН ПИТАННЯ ТА ВИБІР НАПРЯМУ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1. Аналіз досліджень в області лущення зерна. Енергетичні проблеми.

1.1.1 Анатомічна будова й матеріальний баланс структури зерна

Комплексне дослідження будови зерна, встановлення матеріального балансу кормових компонентів і оцінка їх структурно-механічних властивостей спрямовані на вдосконалювання, вибір і побудову раціональних технологічних процесів, режимів підготовки й обробки зерна для харчових і кормових цілей і розробку нової конструкції устаткування.

Високий рівень науково-технічних досягнень в аналітичному обґрунтуванні процесів підготовки й переробки зерна й практичної реалізації їх у виробничих умовах виконаний вітчизняними авторами робіт [3] Н.В. Роменського, П.П. Тарутиного, Я.Н. Куприца, Г.А. Егорова, В.Я. Гиршсона, І.А. Наумова, А.В. Лыкова, І.Р. Дударева, А.Б. Демського, І.В. Настагунина, В.В. Трубова, Л.І. Гросула й роботами закордонних вчених [12] Бейли, Бакши, Бекера, Бурдета, Висса, Пфоста, Кранка, Моргана, Русява, Мюллера, Чирча, Стенверта.

Технологічні властивості зерна значною мірою залежать від його структури, анатомічної будови, умов підготовки, що є визначальним в організації й веденні технологічних процесів виготовлення готової продукції високої якості. Поверхневі тканини, що покривають зерно жита, міцно з'єднані з ядром і на відміну від оболонок рису, вівса й проса вимагають більших зусиль для їхнього відокремлення. Залежно від району вирощування зерно жита можна поділити на три групи: тонко плівкові сорти із вмістом покривних тканин від 8 до 11 %, середньо плівкові сорти із вмістом від 11 до 13% і товсто плівкові сорти із вмістом до 15%.

Співвідношення ваги анатомічних частин у відсотках до сухої ваги зерна жита визначається межами вмісту: покривні тканини (8,0...15,0)%; плодові оболонки (3,4...4,0)%; насінневі оболонки (2,0...2,5)%; алейроновий шар

(12,0...13,0)%; ендосперм (63,0...68,5)%; зародок (2,5...3,0)%. Хімічний склад жита наведено в таблиці 1.1..

Таблиця 1.1. – Хімічний склад зерна жита та відходів лушення

Продукт	Вміст у % на суху речовину				
	Золи	Жиру	Білка	Клітковини	Крохмалю й ін. вуглеводів
Жито	1,8-2,1	1,7-2,4	11,0-15,0	1,9-3,6	76,9-83,6
Мучка	1,9	2,1	12,3	2,0-3,0	80,7
Лузга	1,8	0,9	3,7	66,1	27,5

Підвищений вміст клітковини в раціонах при відгодівлі, наприклад, свиней, знижує перетравлюваність живильних речовин і при збільшенні клітковини на 1% знижує їхні середньодобові прирости. Тому, для згодовування молодняку тварин і птахам, рекомендаціями регламентований вміст клітковини до 3,5%, що досягається шляхом лушення. У результаті лушення зерна жита знижується його зольність і підвищується відносний вміст всіх живильних речовин.

Узагальнення даних досліджень по анатомічній будові й хімічному складу зерна жита приводить до висновку про раціональність розробки й застосування техніки й технології попереднього відокремлення покривних тканин зерна жита при переробці в крупу й стартові комбікорми.

1.1.2 Деформаційні властивості, межі силового навантаження зерна

Вибір оптимальних умов процесу попереднього відокремлення покривних плівок зерна і обґрунтування конструктивних і кінематичних параметрів машин для відокремлення покривних плівок зерна жита повинен базуватися на вивченні межі міцності на стиск, деформаційних і фрикційних властивостей зерна і його анатомічних частин.

Важливими показниками оцінки деформаційних властивостей оболонок, що характеризують їхню поведінку в процесі обробки поверхні зерна, є пружність і твердість. Дослідженнями І.А.Наумова встановлено, що дані показники залежать

від вологості, структури й хімічного складу оболонок. Сухі оболонки вологістю 11,7...12,5 % мають найбільшу твердість і пружність, а із збільшенням до 47,5...48,0 % відбувається їхнє зниження.

Для непрямой характеристики опір ендосперму й зовнішніх покривних елементів пластичним деформаціям рекомендується застосовувати показник мікротвердості. Чим більша мікротвердість зерна, тим більший його опір деформації й навпаки, чим вона менша, тим менший опір зерна зміні його форми.

І.А.Наумов при оцінці міцності окремих шарів зовнішніх покривів встановив, що між розривними зусиллями й вологістю оболонок існує лінійна залежність. Із збільшенням вологості межа міцності знижується, а пружність і пластичність зростають.

Дослідженнями П.П. Пересечного доведено, що фізико-механічна природа розриву оболонок полягає у подоланні розтягуючими зусиллями міжмолекулярних сил зчеплення, що діють у площині розриву.

Виконані експериментальні дослідження Л.І. Гросула, по визначенню властивостей міцності зерна з покривними тканинами і без них вологістю 12 (0,5). При зрушенні дозволили отримати значення межі міцності зерна жита, які склали для зерна з покривними тканинами 8,5...14,0 МПа, а для зерна без покривних тканин 7,6...12,0 МПа, тобто, на 10...14 % нижче. Підвищення вологості з 12 до 24% обумовлює зниження межі міцності відповідно до 2,5...6,8 МПа, 2,4...4,9 МПа.

Експериментальними дослідженнями для одиничних зерен і їх сукупності визначені коефіцієнти тертя й опору зрушенню шару зерна по опорній поверхні при перемінних значеннях нормального навантаження на шар зерна, відносної швидкості зрушення й умовах підготовки випробуваних зерен, що характеризувалися вологістю, часом зволоження й скловидністю. Встановлено, що з підвищенням швидкості зрушення значення коефіцієнтів тертя зростають. Підвищення вологості зерна, також, обумовлює зростання коефіцієнта опору зрушенню, у результаті чого при його лущенні з постійним питомим

навантаженням між шарами, що зрушуються, виникають більші по модулю сили тертя.

І.Р. Дударевым, І.В. Настагуниным, Л.І. Гросулом, В.В. Трубовым, А.А. Соловйовим [30 – 34] були виконані комплексні науково-технічні роботи, що включають теоретичне обґрунтування процесів підготовки й обробки поверхні зерна, проектно-конструкторські розробки нових приладів для оцінки його фізичних властивостей, лабораторні й виробничі моделі стендів і устаткування для дослідження процесу із впровадженням у виробництво нової технології й високоефективних роторно-лопатевих і абразивно-дискових лушильних машин безперервної дії. Застосування розроблених І.Р. Дударевым приладів дозволило встановити залежності зусиль відриву покривних плівок від ядра при різних значеннях ступеня зволоження й часу відволоження: І.В. Настагунину для кукурудзи, А.А.Соловйову для жита, Л.І. Гросулу для зерна пшениці і обґрунтувати раціональні режими підготовки його до переробки в борошно, крупу й комбікорм.

Значна варіабельність геометричних даних, деформаційних властивостей анатомічних структур рядового жита, що вирощується в різних регіонах країни, при розв'язуванні задач досягнення високої ефективності процесу відокремлення покривних тканин від ядра визначає необхідність уточнення структурно-механічних і фрикційних властивостей об'єкта лушення, параметрів підготовки, силового навантаження зернового шару в робочих зонах машин відповідно до реальних умов їх роботи.

1.1.3 Способи зміни структурно-механічних властивостей зерна.

Враховуючи те, що зерна злакових культур характеризуються мінливими властивостями, на процес відокремлення поверхневих тканин істотний вплив має комплекс факторів, що включають умови підготовки до обробки його поверхні, межу міцності на стиск, властивості анатомічних структур і їх зв'язків, кінематика й динаміка зернового шару в процесі лушення й мінливість фрикційних

властивостей при перемінних величинах між зернових навантажень і щільності завантаження зерна в робочу зоні лушильної машини.

Дослідженнями І.Р. Дударева і співавторів робіт фізичних властивостей зерна ячменя, жита пшениці й кукурудзи визначено, що найбільшою міцністю в зерна пшениці має сукупність усіх шарів оболонки, а найменшої – оболонка насінини. У зерна ячменя найбільшу міцність на розрив має квіткова оболонка.

У роботі З.Д. Гончаровой наведені середні результати руйнуючих зусиль, які склали відповідно для зерен кукурудзи, ячменю, жита, пшениці, вівса й гречки.

Дослідженнями встановлено, що на поверхні 90...95% зернівок у результаті попередньої обробки в процесі збирання та зберігання створюються різні по розмірах мікротріщини, що підвищують волого пропускну здатність покривних тканин. При зволоженні вода проникає через тріщини оболонки або їх ушкоджені місця в зовнішні прикордонні шари, у результаті чого відбувається набрякання клітин. У результаті заповнення вологою міжклітинного простору й капілярів відбувається відносний зсув клітин, збільшення проміжків між ними й ослаблення взаємних зв'язків. Різна вологоємність окремих шарів оболонки і умови подачі вологи приводять до появи значних напруг як між шарами, так і на окремих ділянках їх при нерівномірному зволоженні.

Спрямована зміна структурно-механічних властивостей зерна пшениці, жита і ячменю може бути досягнута в результаті впливу на них різними технологічними прийомами.

При загальному оцінюванні волого поглинальної здатності анатомічних частин зернівок, структурні елементи яких виконують роль адсорбенту, що брали участь своєю поверхнею в процесі адсорбції вологи й регулюючого швидкості її дифузії, важливими є фактори набрякання, а також швидкості проникнення й поглинання вологи. Г.А. Егоров [3] експериментально встановив, що при контакті з водою в перші кілька секунд зерно поглинає 3...5 % вологи, а далі, протягом деякого періоду, його вологість залишається незмінною. Це початкове поглинання води здійснюється оболонками, які мають велику кількість пор і капілярів, що

значно збільшують активну поверхню зерна, що й забезпечує швидке поглинання, нагромадження й поширення вологи із значною швидкістю.

Залежно від кількості вологи зерно набуває властивості пружно-пластичного або пластичного тіла. За даними В.П. Малаховцева при вологості 12 % зерно пшениці поводить ся як тендітний матеріал, а при вологості 17 % спостерігається розвиток пластичних деформацій, близько 40 % від повних.

1.2. Способи та засоби відокремлення поверхневих тканин зерна

Безліч способів і засобів лущення зернових матеріалів можуть бути повно охарактеризовані з використанням класифікації.

У першій групі виділені машини з ударним принципом дії, у яких відокремлення поверхневих тканин відбувається, головним чином, під дією ударних імпульсів, багаторазово прикладених до зерен і миттєвих сил тертя, зумовлених ковзанням їх по шорсткуватих поверхнях робочих органів.

До другої групи віднесені лущильні машини фрикційної дії з поділом на дві підгрупи.

У першій підгрупі машин відокремлення поверхневих тканин досягається інтенсивним зовнішнім тертям зерна по робочому органі різної шорсткості, яка може створюватися штучно, шляхом нанесення облицювальної абразивної маси, або є природною.

У процесі переміщення зерен від приймального бункера до випускного отвору до них неодноразово прикладаються нормальні й дотичні зусилля, і одночасно відбувається часткове взаємне тертя оброблюваних зерен.

У другій підгрупі машин використовується інтенсивний вплив на зерно нормальних і дотичних зусиль, як у результаті взаємодії зерен, так і тертя їх по елементах робочих органів. Частоту й інтенсивність таких впливів визначають механічні структурно-механічні властивості зерна жита й міцність зв'язків поверхневих тканин з нижче розташованими покривними тканинами.

До машин ударної дії слід віднести конструкцію фірми Roskamp «Chellenger» особливостями якої є: - наявність луцильної камери, з якої суміш обрушених та подрібнених і необлущених зерен, подається в ніздрюватий трієрний ротор для поділу обрушених і подрібнених зерен з очищенням у вбудованій аспіраційній камері для відокремлення аеродинамічно легких часток у вигляді лузги й мучки.

У луцильній машині фірми «Oscim» FMD-714 для інтенсифікації луцення зерна створені місцеві звуження, утворені закріпленими на внутрішній поверхні обичайки повздовжніми ребрами квадратного перетину; бичевий барабан працює як вентилятор низького тиску, послідовно сполучений з вентилятором середнього тиску аспіраційної мережі, що в результаті створює розрідження в камері осідання матеріалу, що сприяє гравітаційному осіданню аеродинамічно легких часток.

Технологічні показники роботи луцильних машин ударної дії наведено в таблиці 1.2. Після порівняння даних впливає, що показники, які характеризують технологічний ефект луцильних машин ударної дії не можуть бути визнані прийнятними через значну кількість подрібнених зерен, що досягають 27% низьких значень коефіцієнтів луцення й цілісності ядра.

Таблиця 1.2. – Технологічні показники роботи луцильних машин ударної дії при обробці зерна ячменя

Показник	Одиниця виміру	Найменування луцильних машин			
		Луцильник «Ctlltnger»	Луцильна машина А1-ДШО	Луцильник Двох роторний FMD-714	Обби-вальна машина ЗОН-5
Конструктивна продуктив.	кг/год	3200	2800	2200	6000
Питома витрата енергії	квт/год т	4,6	7,10	7,50	8,30
Питома площа	т/ч/м ²	1,76	1,51	0,43	0,83
Подрібнені зерна	%	18,49	27,40	0,38	21,30
Лузга	%	14,68	11,85	4,50	12,10
Мучка	%	5,08	2,3	0,50	2,40
Коефіцієнт луцення	%	37,52	37,64	53,55	93,34
Коефіцієнт цілісності ядра	%	0,03	0,07	0,98	0,71
Ефект луцення	%	1,13	2,63	52,48	66,27

Підгрупу машин фрикційної дії з переважаючим впливом на зерно зовнішнього тертя по поверхні робочих органів становлять лушильні машини типу А1-ЗШН-3, у яких регулювання процесу досягається зміною тривалості перебування зерна в робочій зоні.

Особливостями цієї машини є: можливість зміни тривалості обробки зерна в робочій зоні шляхом дроселювання сипучого потоку, зміни щільності укладання зерна й інтенсивності лушення; переміщення турбулентних повітряних потоків через порожній вал з отворами на його поверхні сприяють охолодженню абразивних дисків, запобігає їх «засолювання» і сприяє відведенню через отвори перфорованої обичайки аеродинамічно легких часток в аспіраційну мережу.

Друга група машин фрикційної дії, у яких процес лушення здійснюється, в основному, за рахунок внутрішнього тертя між зернівками, утворює лінтер-осьова і лушильна машина ШМД.

Встановлення двох послідовно й незалежно діючих лопатевих барабанів, що дозволяє здійснювати диференційований динамічний режим обробки зерна, а інтенсифікація процесу досягається зміною міжзернового тиску під дією випускного дроселюючого обладнання.

Порівняльні результати роботи лушильних машин фрикційного принципу дії наведено в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3. – Результати лушення зерна машинами фрикційної дії

Найменування показників	Одиниця виміру	Найменування лушильних машин			
		Джагов-Джи	А1-ЗШН-3	Лінтер-осьова	ШМД
Конструктивна продуктив.	кг/год	1700	1700	2000	6000
Не облущені зерна	%	70,00	72,00	77,80	7,48
Подрібнені зерна	%	2,26	2,00	2,42	3,30
Лузга	%	5,89	3,96	4,80	13,20
Мучка	%	4,57	2,84	2,20	0,22
Коефіцієнт лушення	%	28,42	26,84	21,26	92,45
Коефіцієнт цілісності ядра	%	0,71	0,80	0,73	0,96
Ефективність лушення	%	20,18	21,43	15,52	88,35

Аналізуючи результати виробничо-технологічних випробувань розглянутих машин слід зазначити, що найбільший ефект лушення досягається в машинах типу А1-ЗШН-3 (перша група) і типу В1-БШР (друга група). Однак їм властивий ряд конструктивних недоліків. Так, у машині А1-ЗШН-3 не повністю використовується робоча поверхня абразивних кіл, а в машині В1-БШР застосоване складне по конструкції дросильно – випускне обладнання, зайва наявність вивідного шнека для відходів лушення, геометрія лопаток вимагає уточнення для зниження зруйнованих зерен у процесі обробки за рахунок ударного впливу на нього гострих з плоскими краями прямокутних лопаток.

Дослідженнями І.Р. Дударева, О.І. Гапонюка, А.А.Бакуменко, а також інших дослідників встановлено, що спосіб абразивного лушення має загальний недолік – відсутність рівномірної обробки поверхні зерна. Ступінь відокремлення покривних тканин у лущильних машинах безперервної дії коливається від 10 до 70 %.

Повноцінна обробка зерна характерна для часток, що перебувають на периферії зернового шару робочої зони. У свою чергу мінімальне відокремлення покривних тканин до 10% притаманно у центральній частині продуктового потоку. Як показали дослідження О.І. Гапонюк, диференційований характер обробки зернової маси визначений так званим ефектом «сухого змащення». Наявність дрібно дисперсних часток покривних продуктів лушення в робочій зоні знижує величину сили внутрішнього тертя, зчеплення між зернівками, коефіцієнта внутрішнього тертя зернової маси. Властивості дрібнодисперсної оболонки, що перебувають між зернівками, зменшують площу плями контакту оброблюваних поверхонь зерна, що призводить до зниження твердості кістяка укладання зернового потоку.

Відмінність природи зв'язків між оболонками зерна, характеристик міцності різних круп'яних культур дозволяє зробити припущення про їхній поділ при суттєво відмінних умовах механічного навантаження. У цьому напрямку, спроби створення підвищених напруг у зоні зводуутворення, без обліку структурно-реологічних властивостей, пружно-пластичних характеристик зернової маси,

приводять до підвищеного числа битих, подрібнених зерен погіршенню якості готової продукції, підвищеному зношуванню робочих органів.

1.3. Напрямки вдосконалювання лушильних машин

Проведений аналіз способів лущення зернових матеріалів свідчить як про можливість подальшого вдосконалювання режимів обробки, так і про необхідність розробки нових підходів і прогресивних рішень у питанні відокремлення покривних тканин, створення сучасних технологічних засобів для реалізації основних технологічних операцій комбікормових і круп'яних виробництв.

Ефективним шляхом вирішення проблем енергетики забезпечення високої якості обробки зерна є використання комбінованих способів відокремлення покривних оболонкових поверхонь із аеросипаруванням. Нові принципи конструювання лушильних машин повинні бути засновані на використанні переваг устаткування багатофункціонального призначення й агрегатів автономного використання, розширення їх технологічних можливостей.

Природа зв'язків оболонок зерна різних круп'яних культур обумовлює можливість їх поділу різними способами при суттєво відмінних умовах механічного навантаження удару, що зрушують, впливом сили тертя. Дослідженнями впливу умов навантаження на ефективність процесу лущення встановлена складна залежність комбінованих способів обробки не тільки від принципу реалізації напруг зрушення, сил зв'язку, способів підготовки зерна, але й фізико-механічних властивостей зернової маси – її структурно-реологічних характеристик.

Аналіз способів впливу на сипучі матеріали дозволить встановити найбільш технічно раціональні й технологічно доцільні способи лущення й принципи їх реалізації із застосуванням роторно-дискових машин, що сполучають абразивно-ударний з аеродинамічним вплив на зернову масу.

Одним з можливих напрямків розв'язання поставленого завдання є вдосконалювання конструктивно-функціональних характеристик робочих органів абразивних луцильних машин. Їхня реалізація може бути досягнута шляхом збільшення активного обсягу робочої зони за рахунок поєднання силових полів фрикційного ударного й аеродинамічного впливу, що дозволяє збільшити довжину шляху й час перебування зерна в робочій зоні, створити умови повного контакту всієї поверхні зерна як з торцевими, так і з бічними поверхнями дисків за рахунок усунення ефекту «сухого змащування».

У якійсь мірі нові підходи до конструювання устаткування з усуненням ефекту «сухого змащування», запропоновані в рамках робіт [14]. І.М. Шипко довів можливість удосконалювання процесу перемішування (міграції зернівок у рамках обсягу робочої зони з периферії в центральну частину й назад) за рахунок зміни геометричних характеристик зони обробки зерна. Зокрема, дослідженнями [16] встановлено, що використання дискової периферії абразивних кіл дозволяє за рахунок створення радіальних напрямних сил тертя динамічно змінювати структуру зернового потоку по напрямку руху зернового середовища в між дисковому робочому просторі. Разом з тим у розширювальних кишнях між дискового простору утворюються застійні зони, де має місце надлишкова обробка зерна, що у свою чергу призводить до надлишкового утворення мучки, засолюванню торцевої поверхні абразивних кіл, росту енергоємності процесу луцення. У цьому сенсі актуальним є обґрунтування геометрії робочої зони між дискового простору, що ліквідує виникнення застійних зон.

Як відомо зернопереробне устаткування, у тому числі й абразивні луцильники, аеродинамічне обладнання, що сепарують, мають значні коливання продуктивності. До напрямків удосконалювання луцильних машин слід віднести завдання стабілізації подачі зерна в робочу зону луцильників і аеродинамічних сепараторів.

Висновки за розділом 1

1. Існуючі лушильні машини мають ряд істотних недоліків, і мають відносно невисокий технологічний ефект. Їх подальше вдосконалення має бути спрямоване на виявлення й реалізацію резервів підвищення ефективності лушення, на основі теоретичних і експериментальних досліджень у всіх складених елементах лушильних систем робочих органів.

2. Очевидно, що інтенсифікація виробництва продуктів лушення, обґрунтування раціональної геометрії робочої зони фрикційної обробки зерна, є перспективним напрямком мінімізації по стадійності, енергоємності процесів крупо утворення. Методи розрахунків конструктивних і технологічних параметрів таких конструкцій комплексних систем лушення відсутні.

3. Стабілізація технологічної ефективності, мінімізація по стадійності процесів лушення, можуть бути забезпечені сполученням фрикційного відокремлення покривних тканин зерна з усуненням ефекту «сухого змащення».

4. Обґрунтування необхідних і достатніх умов комбінованих процесів лушення – впливу на зернові матеріали обмежене відсутністю комплексних досліджень – фрикційних, силових впливів з боку енергетики, якості обробки поверхні зерна.

2. МЕТОДИКА Й ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Програма досліджень

Відповідно до завдань роботи була складена програма експериментальних досліджень процесу лушення зерна ячменю (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Програма експериментальних досліджень

№ дослідів	Напрямок досліджень	Параметри	
		Постійні	Змінні
1.	Попередні експериментальні дослідження процесу лушення зерна ячменю. Експериментальне визначення залежності продуктивності луцильної машини, кількості відходів лушення, вмісту битих зерен і потужності електропривода від технологічних параметрів процесу лушення.	$D, D_{об}, h, n, H, b$	$\alpha, \delta, \omega, f$
2.	Дослідження процесу лушення зерна в абразивно-дисковій машині: а) визначення залежності продуктивності машини від режимних параметрів; б) визначення залежності, кількості відходів лушення від режимних параметрів; г) визначення залежності, потужності, яку споживає луцильна машина від режимних параметрів	$D, D_{об}, h, n, H, b$	$\alpha, \delta, \omega, f$

На підставі аналізу робіт в області обробки сипучих зернових матеріалів запропонована параметрична схема процесу, в якій виділені вхідні керуючі, що збурюють, а, також, вихідні керовані й спостережні параметри, що визначають результативність процесу лушення зерна з досягненням рівномірності обробки його поверхні (рис. 2.1). Стосовно конструкції абразивно-дискової луцильної машини безперервної дії в якості рекомендованих керуючих параметрів процесу лушення з досягненням рівномірної обробки поверхні зернівок і відокремлення оболонок можуть бути вибрані: колова швидкість обертання абразивних дисків, кут нахилу напрямного конуса α , радіальний зазор абразивного диска δ і ситової обичайки, коефіцієнт заповнення зерном робочої зони f .

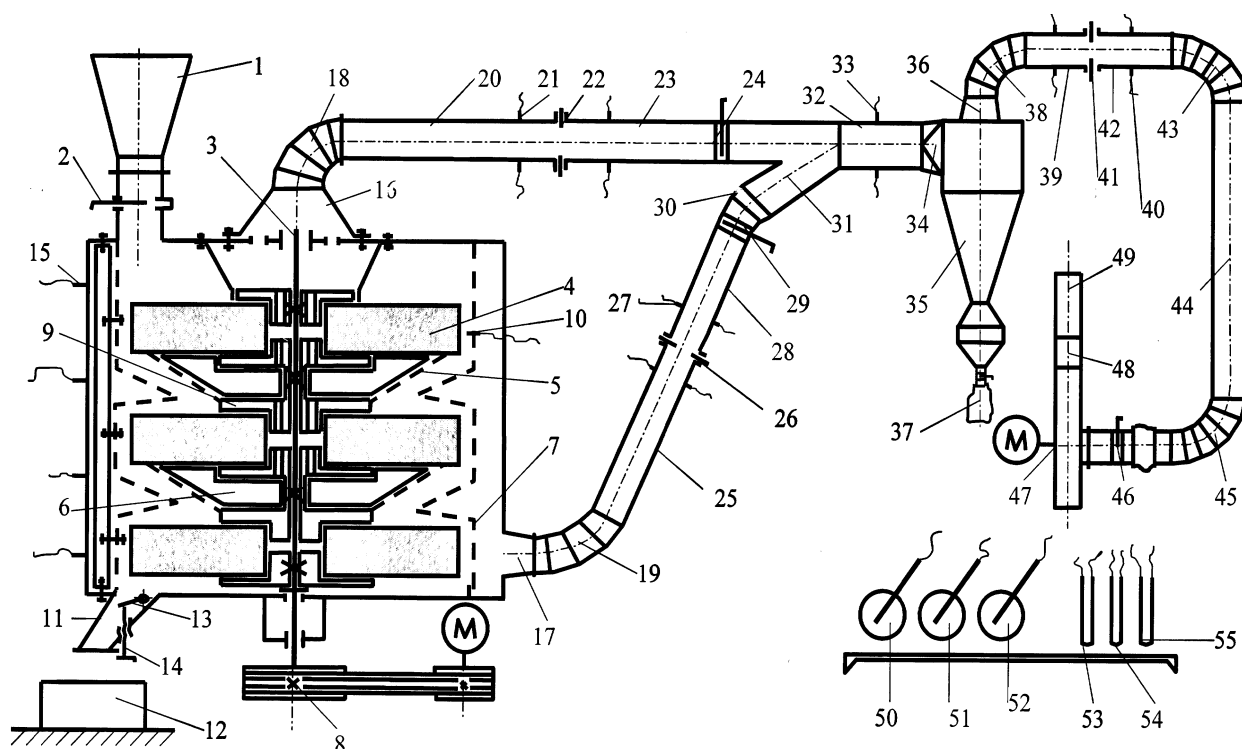


Рисунок 2.1. – Схема експериментальної установки абразивно-дискової
лущильної – шліфувальної машини

1 – завантажувальний пристрій; 2 – засувка регулювання ступені заповнення робочої зони; 3 – вал ротора; 4 – абразивні диски; 5 – ситова обичайка; 6 – випускний пристрій; 7 – клапан регулювання між зернового тиску в робочій зоні; 8 – пневмо-приймач; 9 – пневмо-колонка; 10 – шлюзовий затвор; 11 – ваги; 12, 13 – відповідно ємності для збору продуктів лушення; 14 – вентилятор; 15 – циклон; 16 – регулювальні засувки; 17 – мікроманометри, диференціального й стаціонарного виду; 18, 19, 30, 38, 43, 45 – відводи; 20, 23, 25, 28, 32, 39, 42, 44, 49 – повітряні канали; 22, 26, 41 – діафрагми із центральним отвором; 24, 29, 46 – засувки; 31 – трійник; 35 – циклон; 37 – збірник відходів лушення; 47 – вентилятор з електроприводом; 50, 51, 52 – рідинні мікроманометри ММН-250; 53, 54, 55 – U – подібні манометри.

Вхідними конструктивно-настановчими параметрами, що визначають робочу зону машини можуть бути: діаметр абразивного диска D , внутрішній діаметр ситового циліндра $D_{об}$, радіальний зазор α , висота диска h , кількість

абразивних дисків n , висота усічено-конічного заглиблення H та зазор b між нижньою підставою конуса й поверхнею абразивного диска (див. рис. 2.2).

Ефективність механічного відокремлення покривних тканин зерна жита залежить від параметрів, що впливають: значення вологості вхідного зерна W , зольності z_{iz} , кількості клітковини K_{iz} . До вихідних параметрів можна віднести вихід вилущеного зерна z ; вміст битих зерен ΔB , відходів луцення C_{osh} і залишковий вміст клітковини K_{oz} , зольність z_{oz} і питома витрата енергії на процес N_{yd} .

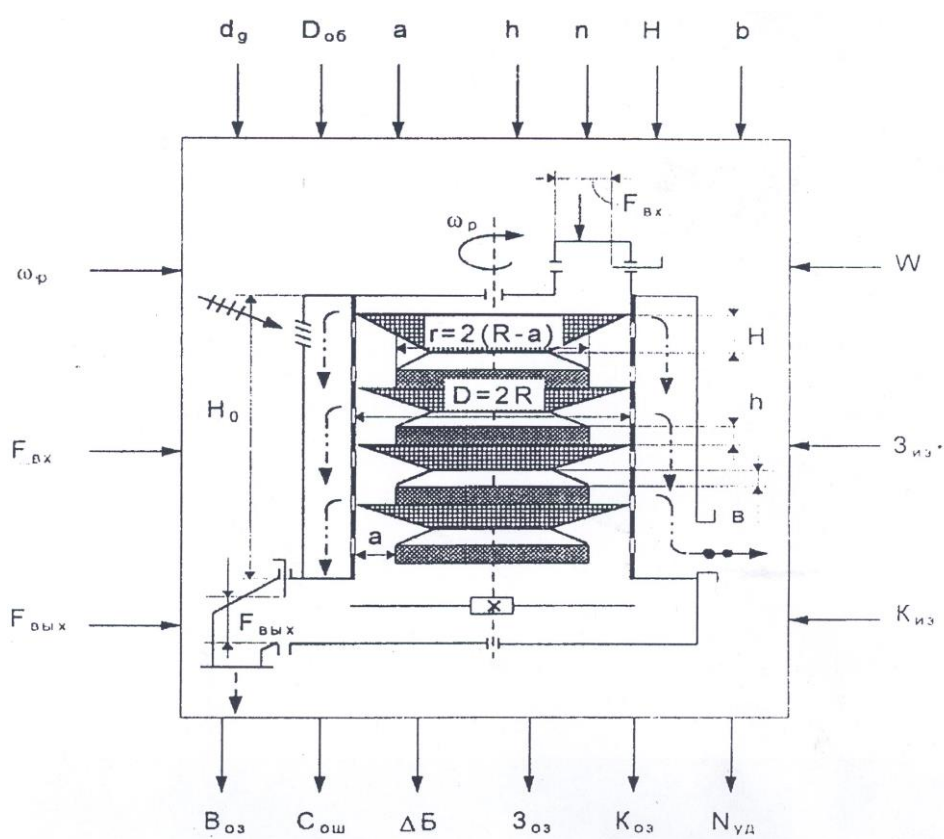


Рисунок 2.2. – Параметрична схема процесу луцення

Вихідні параметри можуть бути використані для загальної оцінки процесу й умов оптимізації оброблювальної операції шляхом використання даних інтенсивності обробки поверхні зернівок, встановлення технологічної продуктивності машини й визначення раціональної витрати енергії на процес обробки одиниці маси продукту. А вплив вхідних параметрів процесу на інші вихідні на основі існуючих теоретичних знань описати не вдається, через складність і різноманіття фізичних явищ.

2.2. Методика експериментальних досліджень

В якості об'єкта дослідження було обрано зерно рядового жита сорту «Кобза» Оригінатор Миронівський інститут пшениці ім. В.М. Ремесла НААН України урожаю 2018 року, вирощеного на Носівській селекційно-дослідній станції Чернігівської області.

Для комплексної оцінки якості продуктів лушення використовували розрахункові рівняння, отримані відповідно до рекомендацій [46].

Показники якості зерна й продуктів лушення визначалися за стандартами методиками: відбір зразків, наважок і проб – ДЕРЖСТАНДАРТ 10839-64; вага 1000 зерен – ДЕРЖСТАНДАРТ 10842-76; об'ємна вага – ДЕРЖСТАНДАРТ 13496.3-70; вміст подрібнених зерен – ДЕРЖСТАНДАРТ 10939-64; вологість – ДЕРЖСТАНДАРТ 3040-55; скловидність – ДЕРЖСТАНДАРТ 10987-76; зольність – ДЕРЖСТАНДАРТ 10847-74; клітковина – ДЕРЖСТАНДАРТ 13496.7-75; крохмаль – ДЕРЖСТАНДАРТ 10845-76.

Для більш повного опису процесу лушення використаний експериментально-статистичний метод. Не заглиблюючись у внутрішню структуру, розглянутий процес, як єдине ціле, і змодельований зв'язок між вхідними й вихідними параметрами. Така модель буде характеризувати властивості при певних діапазонах зміни вхідних і вихідних параметрів. Використаний прямий спосіб обчислення коефіцієнтів регресійних моделей, тому що ефективність використання кореляційного аналізу пов'язана з дотриманням ряду умов, які важко здійснити в умовах реального виробництва.

Досліджуваний процес дозволяє провести активний експеримент, заснований на використанні штучно збурюючих факторів, що вводяться по заздалегідь спланованій програмі. Активний підхід до експерименту в комбінації з методом планування дозволяє отримати необхідні результати, витративши мінімальні засоби й час на проведення досліджень. Таким чином, для побудови математичної моделі процесу лушення використаний регресійний аналіз, а для одержання експериментальних даних - активний експеримент.

Вибираємо наступну стратегію експериментальних досліджень: формулювання мети, висунування гіпотези, планування експериментів, проведення експериментів, обробка й аналіз результатів, перевірка правильності висунутої гіпотези, висунування нової гіпотези, перевірка умов закінчення експерименту, проведення при необхідності повторних експериментів.

Характер протікання процесу відокремлення покривних тканин зерна жита в абразивно-дисковій машині детермінованим чином залежить від величини кута усіченого конуса робочої зони машини – α , радіального зазору між диском і ситом – δ , частоти обертання вала – n і ступеня дроселювання зернового потоку – k . Це підтверджує попередній технічний, технологічний і економічний аналіз роботи лушильних машин для злакових культур.

Основними вихідними параметрами або характеристиками процесу є продуктивність по зерну – Q , кількість відходів лушення – $C_{ов}$, вміст подрібнених зерен – ΔB і потужність електроспоживання – N .

2.3. Експериментальне та контрольнo-вимірювальне обладнання

Установка для дослідження процесу механічного відокремлення поверхневих тканин зерна жита. Дослідження процесу лушення в модернізованій абразивно-дисковій машині, як у лабораторних умовах Інженерно-технологічного факультету, так і на виробництві на базі крупоцеху господарства. Схема модернізованої стендової установки представлена на рис. 2.1. Експерименти проводилися відповідно до програми й методикою викладеної в п. 2.1, 2.2.

Вивчення процесів лушення зерна проводили в наступній послідовності: зразок зерна досліджуваної культури завантажували в бункер 1, потім робили його обробку в машині із установленими геометричними, механічними характеристиками приймальних пристроїв. Кінцевий продукт виводився в короб 12, після чого проводили очищення машини, визначали матеріальний баланс

продуктів лушення, по фракціях розподіл виконували на ситах і в аспіраційній колонці й відбирали зразки для аналізу.

Протягом проведення експериментальних досліджень зразок масою 10 кг засипали в приймальний бункер та піддавали лущенню в машині із установленими геометричними й кінематичними параметрами, проводили виміри, після чого робили їх очищення, визначали матеріальний баланс продуктів лушення, розділяли їх на пневмо сепарувальній колонці й відбирали зразки для аналізу.

Лабораторний стенд дозволяв при варіювальних вхідних факторах, що включають колову швидкість абразивних дисків, зазор, продуктивність, і перемінних у прийнятих діапазонах, визначити величину споживаної питомої потужності $N_{\text{пум}}$, кількість відходів, що утворюються в результаті процесу лушення з робочої зони машини; технологічні показники роботи машини: зниження зольності $\Delta Z\%$; кількість знятих оболонок $\Delta \text{зоб}\%$; збільшення подрібнених зерен ΔB .

Після модернізації і монтажу установку перевіряли на герметичність шляхом створення розрідження в машині й пневмотранспортній системі й контролю показників манометрів, які були підключені до штуцерів відбору тиску в різних місцях на корпусі машини й аспіраційній системі. Відсутність перепаду тиску свідчила про герметичність машини.

Частоту обертання ротора вимірювали стробо-тахометром 2ТСТ32-456 з паспортною похибкою $\pm 0,5$.

Колову швидкість абразивних дисків розраховували за формулою:

$$V = \frac{D\pi n}{2 \cdot 30}, \text{ м/с}, \quad (2.1)$$

Де D – діаметр абразивного диска, м;

n – частота обертання ротора машини, об/хв.

Витрату енергії визначали за допомогою переносного комплексу ДО50 з паспортною похибкою $\pm 0,5$.

Таблиця 2.2 – Контрольно-вимірювальна апаратура, використана для дослідження процесу відокремлення покривних тканин зерна жита

Найменування	Параметри вимірів	Межі вимірів
1. Аспіраційний психрометр	Температура і відносна вологість	-20...+50° С 20...100%
2. Строботахометр 2ТСТ32-45б	Частота обертання ротора	0...150 Гц
3. Електровимірювальний комплект ДО-50	Потужність	0...50кВт
4. Термоанемометр	V	до 5 м/с
5. Ваги медичні	Вага	0,1...100 кг
6. Ваги електронні SCOUT	Вага	0-200 гр
7. Мілівольтметр цифровий, В7-21Ф, №Л020047	Сила струму, опір Напруга	
8. Зерновий вологомір AQUASEARCH-600, модель РМ-6004-1S, фірми Kett Electric Laboratory (Японія)	Вологість	до35%
9. Секундомір	Час	0...120с

Масову витрату оброблюваного матеріалу вимірювали ваговим способом з використанням медичних ваг по залежності:

$$G = \frac{M_m}{t_g}, \quad (2.2)$$

де M_m – вага матеріалу;

t_g – час подачі.

2.4. Методика обробки експериментальних даних

При розробці методики експериментів і обробці експериментальних даних враховувалися вимоги стандартів, а також рекомендації, наведені в літературних джерелах.

При визначенні необхідного числа повторностей експериментів виходили з основного правила: якщо систематична помилка є визначальною, тобто її величина суттєво більша величини випадкової помилки, властивій методу, то досить виконати вимір один раз, якщо випадкова помилка є визначальною, то вимір слід робити кілька раз. В останньому випадку розрахунки числа повторень експерименту проводили після перевірки відповідності достовірності розподілу

нормальному. Перевірку здійснювали за критеріями Ω і W згідно стандартів «Прикладна статистика. Правила перевірки узгодження достовірності розподілу з теоретичним». Визначення числа повторностей експериментів робили за загальноприйнятою методикою за допомогою розподілу Стюдента, а також по таблиці Романовського В.І. при рівні надійності 0,95 - 0,99 і при допустимій похибці 5%.

При обробці експериментальних даних розраховували середнє (або середньозважене) значення ознаки й середнє квадратичне відхилення.

Для перевірки точності експерименту розраховували систематичні й статистичні помилки. Систематичні помилки, що показують межу точності експерименту, визначали для безпосередніх вимірів з урахуванням точності методу й приладів; помилки непрямих величин розраховували за відомими формулами [18]. Статистичні помилки для вимірюваних нами величин (стандарт, імовірна помилка, коефіцієнт варіації) показують не тільки межу точності (тобто систематичні помилки), але й межу мінливості ознаки, тому що у всіх випадках це були змінні величини.

Висновки за розділом 2

1. Характер протікання процесу лушення зерна в модернізованій машині детермінованим чином залежить від величини кута усіченого конуса робочої зони машини – α , радіального зазору між диском і ситом – δ , частоти обертання вала n і ступеня дроселювання зернового потоку – k . Це підтверджує попередній технічний, технологічний і економічний аналіз роботи луцильних машин.

3. Враховуючи вхідні фактори, що включають колову швидкість абразивних дисків, зазор, продуктивність у прийнятих діапазонах, необхідно визначити величину споживаної питомої потужності $N_{\text{пит}}$, кількість відходів, що утворюються в результаті процесу лушення; технологічні показники роботи машини: зниження зольності $\Delta Z\%$; кількість знятих оболонок $\Delta z_{\text{об}}$, %; збільшення подрібнених зерен ΔB .

3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Аналіз результатів відокремлення покривних тканин зерна жита в абразивно-дисковій машині. Режимні параметри.

Для обґрунтування технологічних режимів процесу лушення зерна необхідно попередньо визначити основні закономірності сполучення процесів, що протікають у комбінованій лущильній машині.

Для визначення впливу на лушення зерна різних факторів проводили попередні дослідження на виробничій експериментальній установці (розділ 2, рис.2.2). Для цього проводили пробні пропуски зерна через абразивно-дискову машину й установлювали вплив вихідних даних зерна на показники якості готової продукції й енергетичні показники процесу.

Результати серії попередніх експериментів наведені в Додатку А, а їх графічні залежності на рис. 3.2, 3.3, 3.4.

Залежність продуктивності Q (а), кількості подрібнених зерен B (б), відходів лушення $C_{ш}$, в), потужності електроприводу (с) і кута нахилу усіченого конуса робочої зони α й, радіального зазору δ у лущильної машини для ячменя (1_я, 2_я) наведена на рис. 3.1.

Аналіз графічних результатів, наведених на рис. 3.1, 3.2 (а) показує, що в процесі лушення зерна жита підвищення радіального зазору δ у межах 5...25 мм. призводить до підвищення пропускної здатності машини від 0,75 до 1,5 т/год. Однак, вихід відходів лушення жита при цьому знижується від 8 до 5,5 % при одночасному зниженні кількості пошкоджених зерен від 3,0 до 2,5% і зниженню витрат енергії на процес від 28 до 16 кВт.

Збільшення кута нахилу утворюючої усіченого конуса α в межах 20...40 град. Обумовило незначне підвищення пропускної здатності машини від 0,7 до 0,9 т/год. При цьому, відокремлення оболонок $C_{ш}$, практично залишалося не змінним і становило близько 7%.

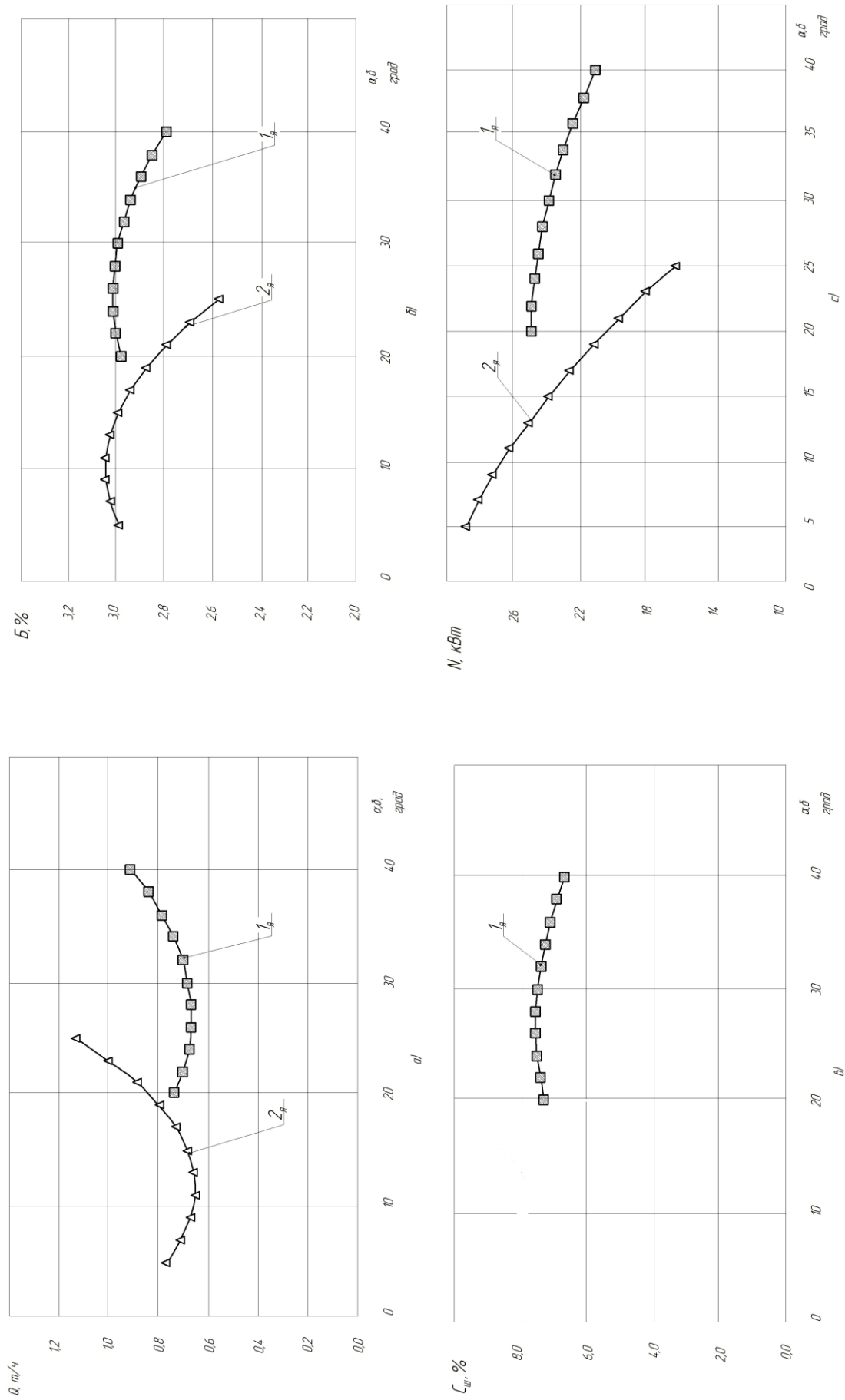


Рисунок 3.1. – Залежність продуктивності Q (а), кількості подрібнених зерен B (б), відходів лушення $C_{ш}$ (в), потужності електропривода N (с) від кута підстави усіченого конуса робочої зони аї радіального зазору δ у лущильній машині для жита (1_я, 2_я) і пшениці (1_п, 2_п).

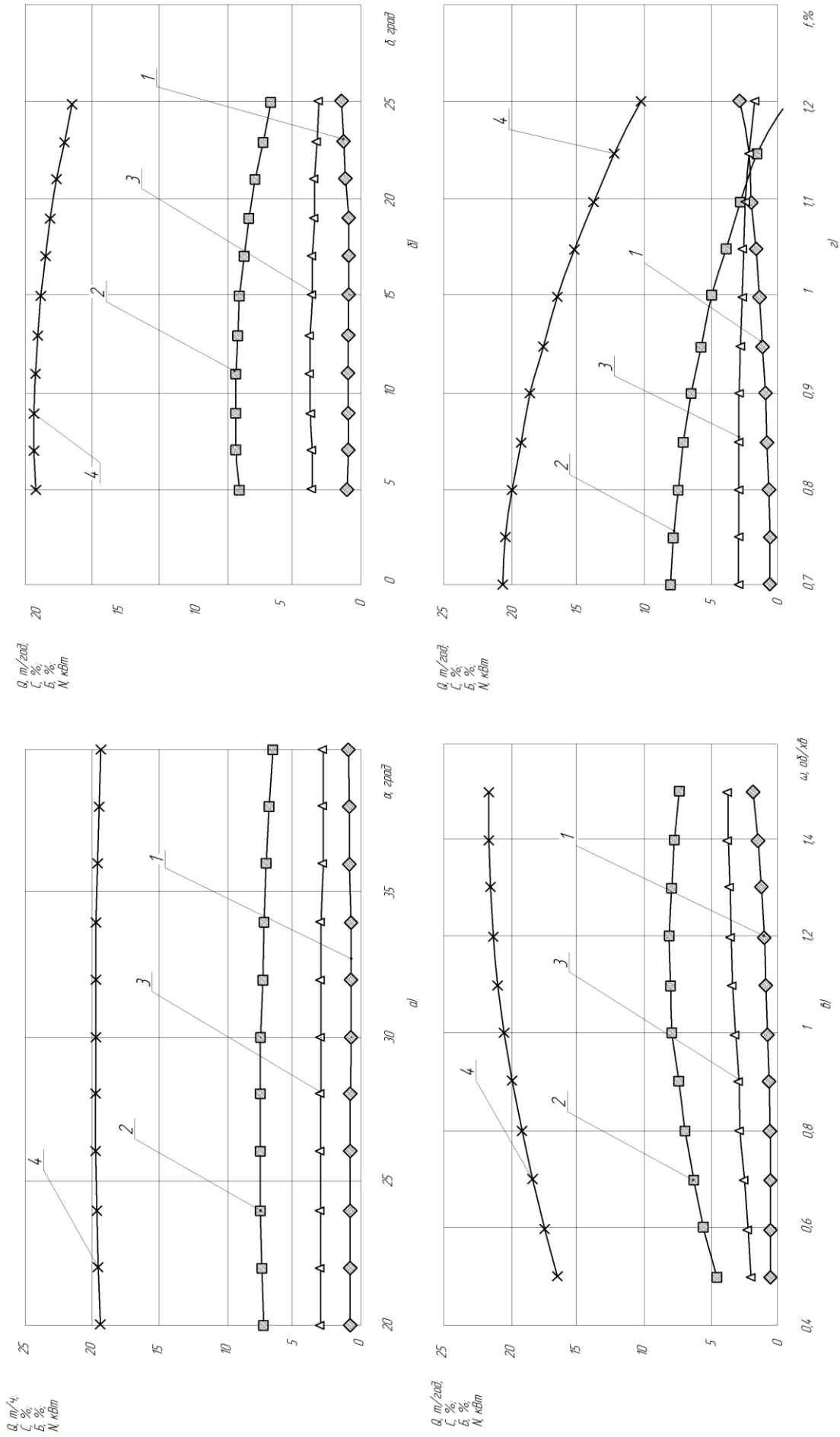


Рисунок 3.2. – Залежність продуктивності луцильної машини (1), кількості відходів (2), подрібнених зерен (3) і потужності електропривода (4) від кута нахилу усіченого конуса робочої зони а (а) і радіального зазору 5 (б), частоти обертання робочого вала ω (в) і відкриття заслінки f (г) для жита.

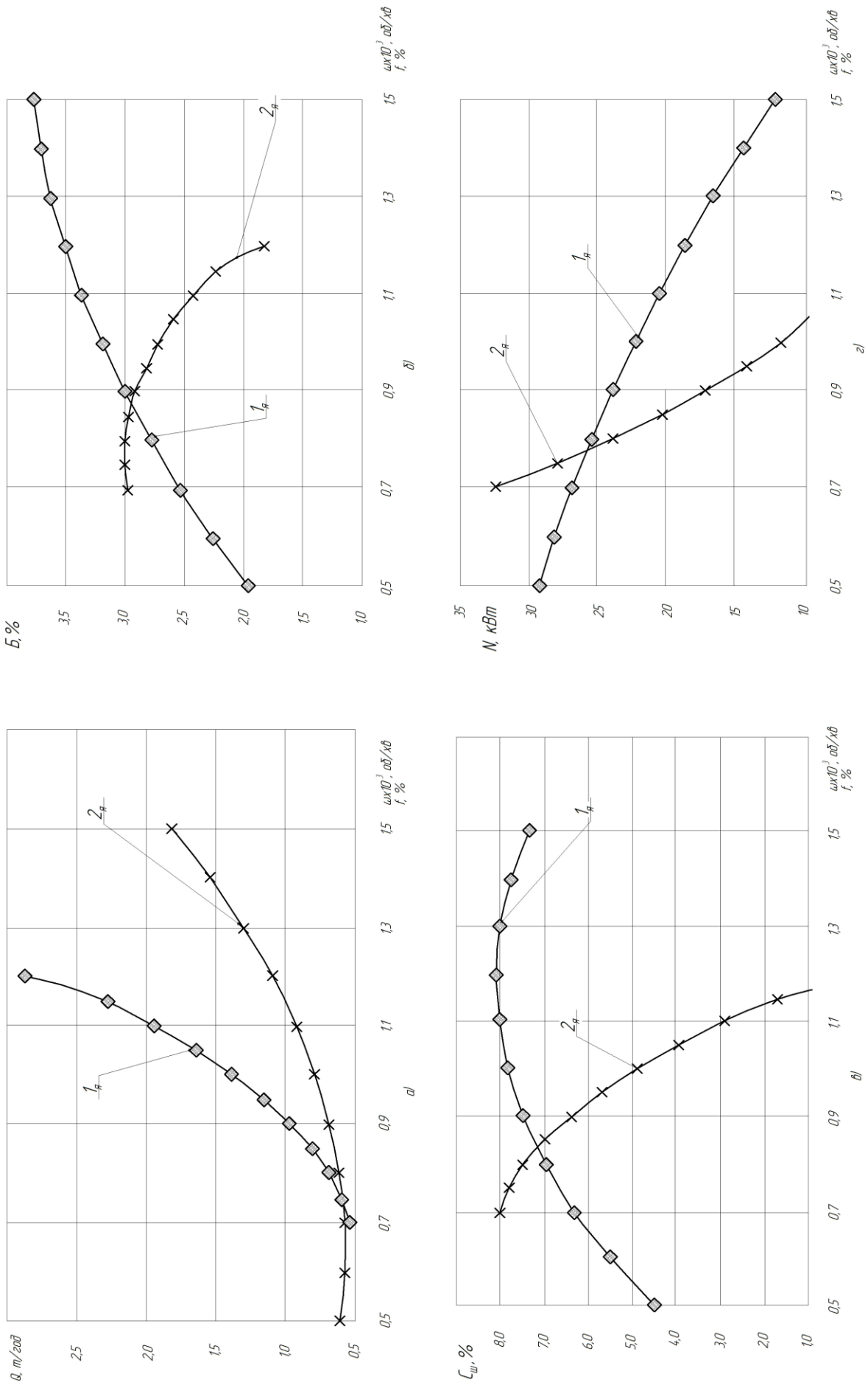


Рисунок 3.3. – Залежність продуктивності Q (а), кількості подрібнених зерен B (б), відходів лушення $C_{ш}$ (в), потужності електроприводу N (г) від частоти обертання робочого вала ω і відкриття заслінки f для жита ($1_a, 2_a$)

Кількість пошкоджених зерен змінювалася в межах $2,9 \pm 0,1\%$, а зміна потужності N на процес знаходилася в межах $23 \pm 2,5$ кВт і характеризувалося стабільною роботою машини.

При луценні зерна жита із збільшенням кутової швидкості обертання абразивних дисків ω продуктивність машини збільшується від 0,5 до 2,8 т/год, однак вихід відходів луцення при цьому підвищився з 4,5 до 8,0 % при одночасному збільшенні кількості подрібнених зерен від 2,0 до 3,7%, що супроводжувалося зниженням витрати енергії від 30 до 12 кВт (рис. 3.3).

При відкритті випускного клапана f , при обробці жита, від 50 до 100% продуктивність машини збільшилася від 0,5 до 1,75 т/год при загальному зниженні виходу відходів луцення, кількості подрібнених зерен і витрати енергії.

3.2. Обґрунтування раціональних параметрів відокремлення покривних тканин зерна жита

Відомі форми закономірностей процесу луцення для розв'язку завдань оптимізації не прийнятні, оскільки не враховують необхідні зв'язки між основними параметрами машини для луцення і зерна, що впливають на кінцеві характеристики якості процесу. Їх застосування вимагає спеціальних перетворень або введення додаткових математичних зв'язків, для яких немає теоретичного обґрунтування, тобто, визначення цих характеристик аналітично або неможливо, або викликає відомі складності, а експериментальне визначення цих зв'язків у загальному випадку є трудомістким. У загальному випадку математичний опис процесу луцення можна представити, як функцію параметрів, обумовлених конструкцією машини (кут нахилу напрямного конуса α , зазор між абразивними дисками δ) керуючих параметрів (частота обертання ротора ω , ступінь дроселювання потоку зерна f) від таких показників якості як продуктивність Q , кількість відходів $C_{\text{в}}$, кількість подрібнених зерен B , потужність електропривода

N .

$$Q = f(\alpha, \delta, \omega, f), \quad (3.1)$$

$$C_{\omega} = f(\alpha, \delta, \omega, f), \quad (3.2)$$

$$B = f(\alpha, \delta, \omega, f), \quad (3.3)$$

$$N = f(\alpha, \delta, \omega, f), \quad (3.4)$$

Такі залежності дозволяють при заданих $(\alpha, \delta, \omega, f)$, розрахувати значення Q, C_{ω}, B, N і вибрати оптимальний технологічний процес.

Для одтримання кількісних закономірностей процесу лушення зерна ячменя була проведена серія дослідів.

Для складання багатфакторного плану експериментів визначили діапазон варіювання досліджуваних факторів на підставі апіорної інформації про технологічний процес і попередніх дослідів.

У результаті обробки експериментальних даних згідно з матрицею планування наведених у додатку Б,

Приймаємо, що вихідні величини залежать від чотирьох незалежних змінних $x_1, \dots, x_4$, які представлені вектором:

$$X = (x_1, x_2, x_3, x_4)^T. \quad (3.5)$$

За допомогою експериментальних досліджень визначаємо наближений опис функції:

$$Y = y(x). \quad (3.6)$$

Враховуючи очевидну не лінійність залежності (3.6), описуємо квадратичними рівняннями загального виду [43]:

$$t(a, x) = a_0 + a_1 x_1 + \dots + a_n x_n + a_{n+1} x_1^2 + \dots + a_{2n} x_n^2 + a_{2n+1} x_1 \cdot x_2 + \dots + a_k x_{n-1} \cdot x_n, \quad (3.7)$$

де

$$k+1 = \frac{(n+2) \cdot (n+1)}{2}.$$

У векторній формі рівняння (3.19) матиме вигляд:

$$y^{(\mu)} = a^{(\mu)T} \cdot f(x), \quad \mu = 1, 2, 3. \quad (3.8)$$

де $a^{(\mu)} = (a_0^{(\mu)}, a_1^{(\mu)}, \dots, a_k^{(\mu)})^T$ і $f(x) = [f_0(x), f_1(x), \dots, f_k(x)]^T$ – відповідно вектор невідомих коефіцієнтів моделі та вектор заданих функцій вхідних параметрів процесу.

Максимальний індекс вектора коефіцієнтів моделі $k=14$, а кількість змінних $n=4$. Враховуючи те, що рівняння моделі по кожному вихідному параметрі має однаковий вигляд, в подальшому індексом μ , що характеризує вихідний параметр, будемо нехтувати. Для дійсних значень вектора коефіцієнтів a , які будемо позначати $\bar{a}$, необхідно знайти оцінку a , використовуємо для цього результати експерименту. Значення y розраховуємо за формулою:

$$y = \alpha^T \cdot f(x). \quad (3.9)$$

Для оцінювання коефіцієнтів моделі виду (3.20), що містить функцію незалежних змінних типу x_i^2 , незалежна змінна в плані повинна приймати принаймні три різних значення. Композиційний план для квадратичної моделі отримуємо шляхом додаванням до «ядра», що утворено планом для лінійної моделі, «зіркових» точок з координатами $(\pm\alpha, 0, \dots, 0), \dots, (0, \dots, 0, \pm\alpha)$. Отримаємо центральний композиційний план, запропонований Боксом с $\alpha = \pm 1,414$ [52]. При $n=4$ в якості ядра ортогонального центрального композиційного плану може бути використано лише повно факторний експеримент з кількістю точок плану $N = 2^{n-p} + 2n + 1$, де 2^{n-p} – число точок ядра плану.

Таким чином, при $2^{n-p} = 16$, $N = 25$. Результати спостережень $\tilde{y}_i$ в точці x_i представимо за допомогою вектора спостережень:

$$\tilde{Y} = (\tilde{y}_1, \tilde{y}_2, \dots, \tilde{y}_N)^T. \quad (3.10)$$

В кожній точці x_i може бути виконано ν дослідів, результатами яких будуть $\tilde{y}_{i_1}, \tilde{y}_{i_2}, \dots, \tilde{y}_{i_\nu}$. У такому випадку в якості $\tilde{y}_i$ використовуємо середнє значення спостережень в точці.

$$\tilde{y}_i = \nu^{-1}(\tilde{y}_{i_1} + \tilde{y}_{i_2} + \dots + \tilde{y}_{i_\nu}). \quad (3.11)$$

Задача заключається в тому, щоб на основі результатів спостережень вхідних параметрів x_i та вихідного параметру $\tilde{y}$ знайти значення a та u найкращі в сенсі мінімуму дисперсії оцінки a_i , тобто.

$$\sigma_i^2 = M\{(a_i - \bar{a}_i)^2\} = \min. \quad (3.12)$$

де M – символ математичного очікування.

Для вирішення поставленої задачі використовуємо метод найменших квадратів. Цей метод дозволяє побудувати оптимальну модель та вирішити питання про те, чи є отримана модель адекватною, тобто, чи відповідає вона дійсності. Оцінювання невідомих коефіцієнтів моделі у відповідності з методом найменших квадратів визначають за формулою:

$$a = (F^T \cdot F)^{-1} F^T \tilde{Y}, \quad (3.13)$$

де F – вибрана матриця спостережень вхідних параметрів розмірності $N \times (k+1)$.

Позначимо через C дисперсійну матрицю:

$$C = (F^T \cdot F)^{-1}. \quad (3.14)$$

У рівнянні (3.13) матриця $F^T \cdot F$ повинна бути не вироджена, тобто $|F^T F| \neq 0$, що має місце, коли матриця F має ранг $(k+1)$.

Відповідно [49] дисперсійна матриця плану має вигляд:

$$C = \begin{bmatrix} C_0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & C_1 I_n & 0 & 0 \\ 0 & 0 & C_2 I_n & 0 \\ 0 & 0 & 0 & C_3 I_{\left(\frac{n}{2}\right)} \end{bmatrix} \quad (3.15)$$

де $C_0 = 0,04$, $C_1 = 0,05$, $C_3 = 0,125$, I_n – одинична матриця n ,

$\left(\frac{n}{2}\right)$ – число варіантів від n до 2.

Розрахунок оцінки регресійних коефіцієнтів моделі виконаємо за наступними формулами:

$$\hat{a}_i = \begin{cases} C_1 \sum_{j=1}^N x^j \tilde{y}^j, i = 1, \dots, n; \\ C_2 \sum_{j=1}^N \left[(x_{i-n}^j)^2 - \beta \right] \tilde{y}^j, i = n+1, \dots, 2n; \\ C_3 \sum_{j=1}^N x_{\mu}^j \cdot x_{\lambda}^j \cdot \tilde{y}^j, \mu, \lambda = 1, 2, \dots, n; \mu \neq \lambda; \\ i = 2n+1, \dots, k; \end{cases} \quad (3.16)$$

$$\tilde{b}_0 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \tilde{y}^j; \quad (3.17)$$

$$a_0 = b_0 - \beta \sum_{i=1}^n a_{n+1}; \quad (3.18)$$

$$\beta = \frac{2^{n-p} \alpha^2}{N} = 0,8$$

Оцінювання дисперсії коефіцієнтів визначимо з рівняння:

$$S_i^2 = \begin{cases} S^2 \cdot C_0, i = 0; \\ S^2 \cdot C_1, i = 1, \dots, n; \\ S^2 \cdot C_2, i = n+1, \dots, 2n; \\ S^2 \cdot C_3, i = 2n+1, \dots, k; \end{cases} \quad (3.19)$$

де S^2 – оцінювання дисперсії похибки спостережень,

$$S^2 = \frac{S_e}{v\varphi_2}, \quad (3.20)$$

А сума квадратів помилок

$$S_e = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^v (\tilde{y}^{ij} - \tilde{y}^i)^2,$$

З числом ступенів вільності для оцінювання дисперсії спостережень $\varphi_2 = N(v-1)$.

Суму квадратів S_D , що характеризує неадекватність моделі розраховуємо за формулою:

$$S_D = \sum_{i=1}^N v \cdot (\tilde{y}^i - y^i)^2. \quad (3.21)$$

Визначимо $\varphi = N - K - 1$ – число ступенів вільності для остаточної дисперсії і величину F – критерію:

$$F = \frac{S_D / \varphi_1}{S_e / \varphi_2}. \quad (3.22)$$

Для заданої надійності $P = P\{F < F_{кр}\}$ за допомогою таблиць визначимо значення $F_{кр}$. Якщо $F \leq F_{кр}$, то вважаємо модель адекватною, якщо $F > F_{кр}$, гіпотезу адекватності відхиляємо.

Потім перевіряємо значущість коефіцієнтів моделі. Будемо вважати їх значимими, якщо

$$|a_i| > h_i \cdot S, \quad (3.23)$$

де $S = \frac{S_e}{\sqrt{\varphi_2}}$, $h_1 = t_{кр} \sqrt{C_1}$, $h_2 = t_{кр} \sqrt{C_2}$, $h_3 = t_{кр} \sqrt{C_3}$, $t_{кр}$ – критичне значення розподілення Стюдента для заданого рівняння значимості $(1-P)$ і φ_2 ступенів вільності.

Рівні варіювання факторі вказані в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1. – Фактори і рівні їх варіювання для жита

Фактори	Кодове значення	$X_i = -1,414$ (зіркова точка)	$X_i = -1$ (нижній рівень)	$X_i = 0$ (основний рівень)	$X_i = 1$ (верхній рівень)	$X_i = 1,414$ (зіркова точка)
Кут встановлення конусу робочої зони дискової лушпильної машини, °	x_1	20	23	30	37	40
Радіальний зазор між абразивним диском і циліндричним ситом, мм	x_2	8	10	15	20	22
Частота обертання валу дискової лушпильної машини, об/хв	x_3	620	700	900	1100	1180
Ступінь дроселювання зернового потоку, %	x_4	70	75	85	95	100

Фактори і рівні їх варіювання представлені в таблиці 3.1, а план експерименту в таблиці 3.2. Змінні в моделі входять в нормованому масштабі. В загальному вигляді перехід до нормованого масштабу може бути виконаний за наступним зразком.

$$x_i^* = \frac{x_i^* - \left(\frac{x_{i_{\max}}^* + x_{i_{\min}}^*}{2} \right)}{\frac{1}{2} \left(\frac{x_{i_{\max}}^* + x_{i_{\min}}^*}{2} \right)}, \quad (3.24)$$

де x_i^* - значення i – тої змінної в натуральному масштабі вимірювань.

Таблиця 3.2. – План експеримента

№ дослід	X ₀	Матриця х плану			
		X ₁	X ₁	X ₁	X ₁
1.	+1	-1	-1	-1	-1
2.	+1	+1	-1	-1	-1
3.	+1	-1	+1	-1	-1
4.	+1	+1	+1	-1	-1
5.	+1	-1	-1	+1	-1
6.	+1	+1	-1	+1	-1
7.	+1	-1	+1	+1	-1
8.	+1	+1	+1	+1	-1
9.	+1	-1	-1	-1	+1
10.	+1	+1	-1	-1	+1
11.	+1	-1	+1	-1	+1
12.	+1	+1	+1	-1	+1
13.	+1	-1	-1	+1	+1
14.	+1	+1	-1	+1	+1
15.	+1	-1	+1	+1	+1
16.	+1	+1	+1	+1	+1
17.	+1	-1,414	0	0	0
18.	+1	+1,414	0	0	0
19.	+1	0	-1,414	0	0
20.	+1	0	+1,414	0	0
21.	+1	0	0	-1,414	0
22.	+1	0	0	+1,414	0
23.	+1	0	0	0	-1,414
24.	+1	0	0	0	+1,414
25.	+1	0	0	0	0

Отримані рівняння регресії для жита:

$$Q = 5,8906 - 0,0892\alpha - 0,0861\delta - 2,6741\omega - 8,8542f + 0,0014\alpha^2 + 0,00275\delta^2 + 1,7187\omega^2 + 6,875f^2 + 0,0004\alpha\delta + 0,0089\alpha\omega + 0,0125\delta\omega \quad (3.25)$$

$$Z = -15,5678 + 0,2624\alpha + 0,1875\delta + 17,9687\omega + 30,2292f - 0,0049\alpha^2 - 0,0096\delta^2 - 7,5521\omega^2 - 23,9583f^2 \quad (3.26)$$

$$B = -4,7986 + 0,0566\alpha + 0,0733\delta + 5,1042\omega + 8,9583f - 0,0011\alpha^2 - 0,0021\delta^2 - 1,3021\omega^2 - 5,2083f^2 - 0,0125\alpha\omega - 0,025f\delta - 0,625\omega f \quad (3.27)$$

$$N = -13,4154 + 0,2349\alpha + 0,1195\delta + 29,8423\omega + 44,3571f - 0,004\alpha^2 - 0,0082\delta^2 - 5,4687\omega^2 - 3,0625f^2 - 0,0014\alpha\delta - 0,0357\alpha\omega + 0,0714\alpha f - 0,1375\delta\omega + 0,225f\delta - 13,125\omega f \quad (3.28)$$

3.3. Аналіз комплексного критерію ефективності лушення зерна жита

У результаті лушення зерна жита, що надходить у машину, утворюються два продукти - облушене зерно й відходи лушення (лузга, мучка, що включає оболонки ендосперму й подрібнені зерна).

Чим більша вага відділених оболонок, нижче вміст клітковини в облушеному зерні й менше втрати ендосперму (крохмалю у відходах лушення) і подрібненого ядра, тим вище ефективність процесу.

Застосовувані критерії для оцінки ефективності процесу лушення [38, 46], що включають відносний вихід лушених зерен, відносний вміст цілих ядер у продукті, мають істотні недоліки, що полягають у тому, що як основу побудови оцінюючої системи прийняті зернівки, не облушені й різні по крупності продукти, позбавлені покривних тканин. При лушенні зерна з міцним зв'язком оболонок, можливе відокремлення оболонок, яке наведеними вище критеріями, не може бути враховане. До того ж, мучка, що утворюється в процесі лушення не може бути безпосередньо відібрана без підсушування продуктів обробки.

У роботі [53] в критерій ефективності входить показник вологості відходів лушення, який тільки побічно свідчить про втрати ендосперму (крохмалю) у відходах лушення.

Для повної й достовірної оцінки ефективності лушення були прийняті

наступні безпосередньо обумовлені й розрахункові показники: відносний вихід відходів лушення в перерахуванні на абсолютно суху речовину – $C_{ош},\%$ відносний приріст ваги ушкоджених зернівок у продуктах обробки – $\Delta B, \%$ і питома витрата енергії на процес N_{nut} .

Для об'єктивної оцінки технологічної ефективності процесу лушення зерна жита нами запропонований комплексний критерій, що враховує продуктивність лущильної машини Q .

$$K = \frac{N_{nut}}{Q \cdot C_{ош}}, \quad (3.29)$$

У результаті обробки експериментальних даних відповідно до цільової функції ($DO = (\alpha, \delta, \omega, f)$) отримане рівняння множинної регресії, що описує поверхню відгуку обраного критерію оптимальності для жита

$$\begin{aligned} DO = & 62,5643 - 0,4998\alpha - 0,9163\delta - 26,3863\omega - 70,003f + 0,0018\alpha^2 + \\ & + 0,004\delta^2 + 3,9766\omega^2 + 19,6562f^2 + 0,0042\alpha\delta + 0,0692\alpha\omega + 0,3223\alpha f + \\ & + 0,1081\delta\omega + 0,6637f\delta + + 13,6562\omega f \end{aligned} \quad (3.30)$$

На рисунку 3.4., наведена графічна інтерпретація залежності.

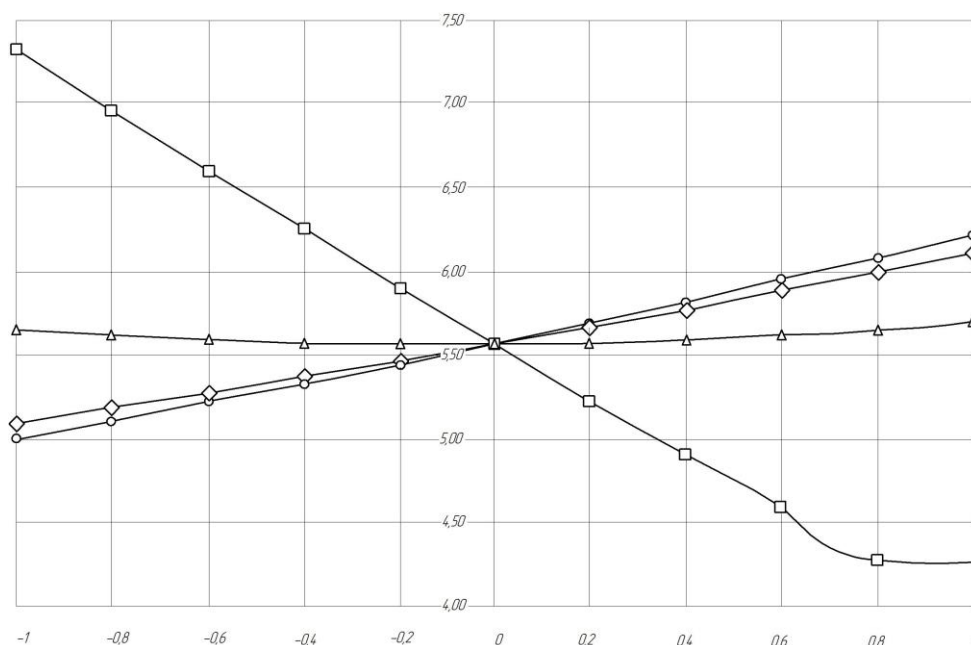


Рисунок 3.4. – Залежність коефіцієнта ефективності процесу лушення від кута підстави усіченого конуса робочої зони α (1) і радіального зазору δ (2), частоти обертання робочого валу ω (3) і відкриття заслінки f (4) для жита

Аналіз графіків показує що оптимальним режимом обробки є:

Для жита $\alpha = 30^0$; $\delta = 15\text{мм}$; $\omega = 900\text{об/хв}$; $f = 85\%$;

Висновки за розділом 3

1. Розроблена аналітична методика оцінки рівномірності обробки поверхні зернівок у процесі лушення та імовірнісна модель визначення характеристик по енергетичних витратах на процес, що дозволяє визначити тривалість і якість обробки поверхні зерна й обґрунтувати критерії якості процесу.

2. Розроблена математична модель абразивного лушення, яке поєднує фазові зміни однорідності й рівномірності обробки зерна, кінетики й статистики лушення з динамічною формозміною й деформуванням кістяка укладання зернового потоку при сумісництві внутрішніх і зовнішніх сил комплексної деформації.

3. На підставі ймовірної моделі визначення характеристик енергетичних витрат на процес лушення розроблена аналітична методика оцінки рівномірності обробки поверхні зернівок, яка дозволяє обґрунтувати тривалість раціонального часу для заданої якості лушення ячменя.

4. Обґрунтована схема робочої зони й область раціональних значень частоти обертання абразивних дисків $\omega = 900...1300\text{об/хв}$, радіальний зазор $\delta = 10...15\text{мм}$, схема подачі – кути напрямних конусів $\alpha = 20...30^0$, а також розроблені рекомендації з розрахунків лущильних комплексів.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ

Згідно закону України «О охороні праці» затвердженою ухвалою Верховної ради України від 21 листопада 2002г. № 229-IV (із змінами), в підприємстві відповідальність за охорону праці покладається на директора, головних фахівців, керівників, бригадирів виробничих ділянок, інженера по охороні праці. На інженера по охороні праці покладено головне завдання - організація робіт по охороні праці. В цілому по підприємству відповідальність за охорону праці покладається на керівника, головних фахівців, керівників, бригадирів виробничих ділянок, інженера по охороні праці. На інженера по охороні праці покладено головне завдання - організація робіт по охороні праці.

4.1. Технічний регламент та вимоги безпеки під час роботи з машинами на крупозаводах

Під час переробки, зернобобових та круп'яних культур необхідно виконувати наступні вимоги Правил:

- переробка зерна повинна проводитися у виробничих приміщеннях, які відповідають нормам технологічного проектування підприємств сільського господарства, вимогам санітарних та будівельних норм і правил;
- дозволяється проводити переробку зерна у приміщеннях, які мають окремі спеціальні відділення для, очищення, сушіння и зберігання зерна, оснащені системою аспірації і протипожежним інвентарем.

Безпека виробничих процесів післязбиральної доробки зерна повинна бути забезпечена:

- вибором технологічних процесів, прийомів, режимів роботи й порядку
- обслуговування виробничого устаткування;
- вибором виробничих приміщень;
- вибором виробничого обладнання;
- розміщенням виробничого обладнання і організацією робочих місць;
- застосуванням колективних та індивідуальних засобів захисту

працюючих;

- виконанням діючих норм і правил, визначених вимогами до конструкції будівель, споруд, машин.

Технічний стан обладнання крупозаводів, зерноочисних агрегатів, зерноочисно-сушильних комплексів, цехів і дільниць з виробництва круп, повинен відповідати вимогам експлуатаційної документації.

При розміщенні обладнання на крупозаводі потрібно забезпечити зручність та безпеку обслуговування і можливість евакуації працівників в аварійних ситуаціях. Інтервал між обладнанням у зоні обслуговування повинен бути 0,8-1,0 м.

Візуальна й звукова сигналізація повинна забезпечувати надійний і зрозумілий зв'язок для безпечних сумісних дій обслуговуючого персоналу, в тому числі в темний час доби.

Під час проведення технічного обслуговування лушильних машин й обладнання необхідно зупинити їх і відключити напругу. На рубильниках і пускачах вивісити плакат «Не вмикати! Працюють люди».

Захисні огороження після закінчення технологічних регулювань і технічного обслуговування машин і обладнання повинні бути встановлені на свої місця. Експлуатувати машини та обладнання без захисних огорожень не дозволяється.

Світильники повинні бути в герметичному виконанні, а електродвигуни - у вибухобезпечному, з відповідним захистом.

На розподільному щиті крупозаводу, агрегату, комплексу необхідно встановлювати загальні апарати, які відключають живлення усіх електроустановок.

4.2. Аналіз формування травмонебезпечних ситуацій під час роботи з машинами на крупозаводах

Аналіз небезпечних умов, які існують чи виникають безпосередньо на виробництві показав, що їх можна поділити на групи, які:

- характеризують стан або рівень небезпеки виробничого обладнання або певного робочого місця, конструктивні недоліки конкретного вузла чи машини;
- спонукають працюючого допускати помилки у процесі роботи, низька кваліфікація працюючого та рівень знань з охорони праці;
- створюють можливість проникнення працюючого у небезпечну зону в наслідок відсутності відповідного контролю за дотриманням правил з охорони праці, та інші.

Основні небезпеки, які виникають під час роботи з машинами для щільювання ґрунту приведені в таблиці 4.1.

Висновки щодо підвищення стану охорони праці та безпеки з надзвичайних ситуацій.

1. Збільшити кількість засобів пожежогасіння на крупозаводі.
2. Обладнати спеціальними попереджувальними табличками та знаками небезпечні вузли машини переробного підприємства.
3. Забезпечити робітників засобами індивідуального захисту.
4. Організувати вчасне проведення періодичних медичних оглядів працівників.

Таблиця 4.1 – Аналіз процесів формування травмонебезпечних ситуацій при роботі на машинах для крупозаводів

Вид робіт, робоче місце, виробниче обладнання	Виробнича небезпека			Можливі наслідки	Заходи запобігання небезпечним ситуаціям
	Небезпечна умова (НУ)	Небезпечна дія (НД)	Небезпечна ситуація (НС)		
Ремонт Електропроводки	Виконання ремонту некваліфікованою особою (НУ)	Працівник доторкнувся до корпусу (НД)	Ураження електричним струмом (НС)	Травма (Т)	Заборонити працівнику самостійно проводити ремонт, роботу повинен виконувати лише електротехнічний персонал
НУ → НД → НС → Т					

Зупинка обладнання на ремонт	На рубильнику не вивішена табличка «Не вмикати працюють люди» (НУ)	Сторонній працівник самовільно ввімкнув рубильник (НД)	Травмування працівника, який здійснює ремонт (НС)	Травма (Т)	Провести інструктаж з питань охорони праці. При зупинці обладнання чи технічному обслуговуванні на рубильнику вивішувати табличку «Не вмикати працюють люди»
НУ → НД → НС → Т					
Переналагодження обладнання	Необхідність перевстановлення деталей (НУ)	Пошкодження струмовідвідних деталей (НД)	Ураження струмом працівник (НС)	Травма, нещасний випадок (Т)	Перевірка стану струмопідвідних механізмів і деталей робіт, провести інструктаж з ОП
НУ → НД → НС → Т					
Доторкання до працюючого обладнання	Необхідність Контролю продуктів виробництва (НУ)	Відсутність заземлення. Недодержання правил з охорони праці (НД)	Проходження струму по деталях (НС)	Травма, нещасний випадок (Т)	Перевірка стану заземлення, проведення позапланового інструктажу з ОП
НУ → НД → НС → Т					
Робота з клинопасовими передачами електродвигунів	Працівник проводить огляд роботи при відкритій кришці (НУ)	Руки або частини одягу працівника потрапили в зону обертової частини (НД)	Захват рук працівника приводним механізмом (НС)	Травма (Т)	Заборонити проводити огляд частин механізму при ввімкненні його в мережу. Провести позаплановий інструктаж
НУ → НД → НС → Т					

5. Забезпечити оптимальні мікрокліматичні умови в приміщеннях крупозаводу для відчуття теплового комфорту, та створити передумови для високого рівня працездатності.

6. Стежити та вчасно проводити змащування вузлів механізмів машин.

7. Забезпечити надійну та безпечну роботу світильників.

5. РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩО ДО ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ ДОСЛІДЖЕНЬ

5.1. Практичне застосування результатів досліджень

В результаті проведених досліджень процесів абразивно-фрикційного лущення, сепарування, був знайдений технічний розв'язок робочих органів модернізованої абразивно-луцильної машини, й розроблені вихідні вимоги на проектування й створення експериментально промислового зразка установки. Вони містять принципову схему й технічну характеристику.

Основою для модернізації конструкції робочих органів луцильної машини, з'явилися конструктивні параметри, оптимальні значення яких визначені за результатами дослідження. Основні вимоги до конструкції зводяться до наступного. Робоча область повинна складатися з п'яти зон, розділених проміжними напрямними конусами (рис. 5.1 і 5.2).

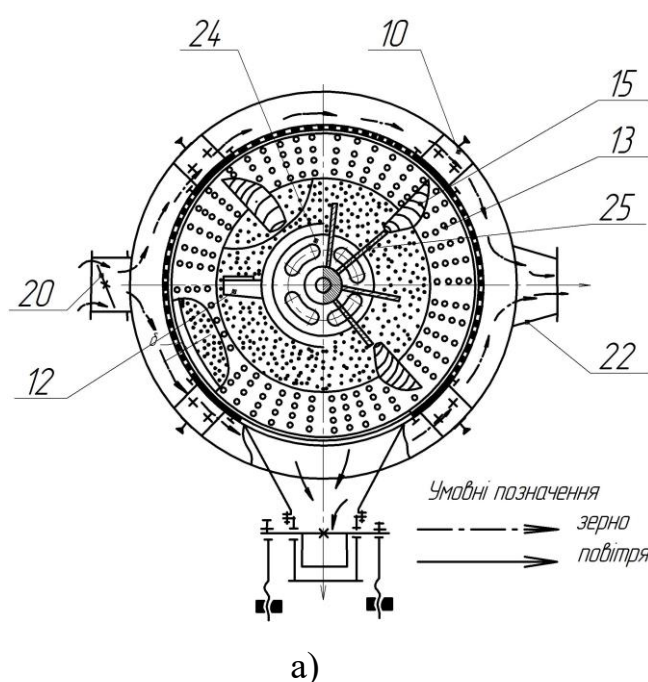
Довжина зони $L = 0,12\text{ м}$, прийомний фронт $D = 450\text{ мм}$, ширина розвантажувальної лінії $B = 550\text{ мм}$. Кут нахилу робочої зони напрямних конусів 60° .

Діапазон регулювання режимних параметрів повинен становити: зазор $0,1\text{ м} < \delta < 0,25\text{ м}$, швидкість руху абразивних дисків $0,2\text{ м/с} < V < 0,3\text{ м/с}$.

У просвіті між горизонтальними поверхнями абразивних дисків 8 установлені усічено-конічні направляючо-розподільні перфоровані кільця 13 із закріпленими на них профільними клиноподібними обтічниками 15 зернових потоків (рис. 5.1, 5.2).

Конструкція верхнього усічено-конічного перфорованого кільця 13 виконана із сита з кутом розкриття утворюючої конуса більше кута зовнішнього тертя сипучого матеріалу для рівномірної подачі й розподілу продукту по поверхні диска 8. На поверхні конічного кільця 14 з кутом розкриття конуса менше кута тертя закріплені клиноподібні елементи 14, для силового заклинювання матеріалу їх поверхня. Між елементами 13 і 14 закріплені обтічники 15 зернових потоків. Кільцеве обладнання 14 має радіальні профільні

елементи.



а) принципова схема; б) фото машини

Рисунок 5.1. – Принципова схема та фото абразивно-дискової машини

Конічне відцентрове випускне обладнання закріплено на валу 5 ротора, включає диск 16, корпус 17, розпушувачі 18 для відцентрового видалення обробленого зерна з робочої зони машини через патрубок 4, обладнаний вантажним клапаном 19.

Аспіраційне обладнання включає патрубок із заслінкою 20 для надходження зовнішнього повітря в кільцеву камеру 21, проходження його через ситові елементи конусів 13 і видалення через патрубок 22.

По коловому контуру корпусу підшипника 6 розташовуються отвори 23 для рівномірної осьової подачі повітря в отвори фланців 24, між якими вбудовані відцентрові вентилятори 25 для видалення повітря через ситові поверхні 13. При роботі машини вихідне зерно подається через живильний патрубок 3 на лопатевій розподільник 12 потоку по контуру робочої зони машини.

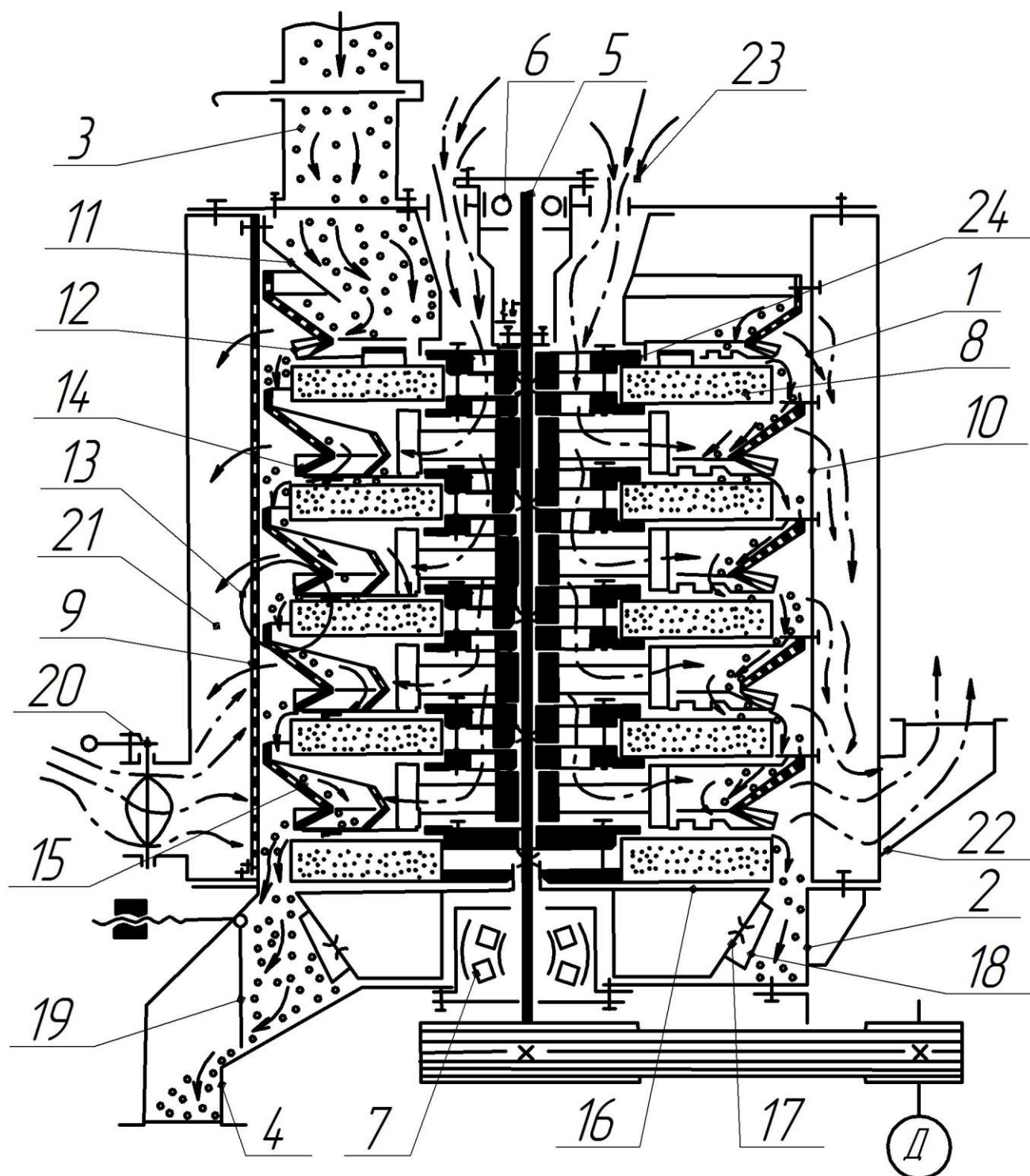


Рисунок 5.2. – Принципова схема абразивно-дискової машини

Зерновий потік, що набігає на клиноподібні обтічники 15, розділяється пропорційно по напрямку руху зерна нагору й униз для контакту його як з нижньою, так і верхньою робочими площинами суміжних дисків 8 ротора машини. Такий розподіл сипучого матеріалу на два потоки дозволяє знизити

питоме навантаження на одиницю корисної площі робочих поверхонь дисків і в максимальній мірі використовувати нормальні й дотичні напруження в шарі зерна для підвищення ефективності й рівномірності обробки його в процесі лушення, або шліфування.

Прийняте розташування обтічників 15 клиноподібної форми створює передумови найбільш раціонально використовувати суміжні поверхні абразивних дисків 8, що дозволяє при меншій кількості їх підвищити продуктивність машини.

Процес обробки багаторазово повторюється в міру транспортування зерна до обладнання, що видаляє продукти переробки, по складних траєкторіях, з видаленням його через клапан з вантажем-противагою 19, що забезпечує зміну величини між зернового тиску в її робочій зоні й тривалості обробки продукту.

При зміні конструктивних і кінематичних параметрів робочої зони машини стає можливим її універсальне застосування для лушення й шліфування різних видів зернових культур.

Технологічна ефективність процесу лушення при раціональних режимних і конструктивних технологічних параметрах повинна відповідати вимогам «Правил ведення технологічних процесів на крупозаводах».

Виробничі випробування й впровадження луцильної машини у лінії виробництва крупи із зерна ячменю, відповідно до вимог стандартів при виробленні готової продукції проводилася на крупозаводі ССТ «Краяни». Універсальна лінія виготовлення готової продукції дозволяла забезпечити виготовлення лушеного жита для приготування корму для поросят – відлучених від свиноматки і птахів на ранній стадії розвитку. Лінією передбачене вироблення харчових і кормових продуктів при значному зниженні радіонуклідів, які зосереджуються в оболонках покривних структур. До складу технологічної лінії вироблення крупи й кормів входить технологічне й транспортне устаткування. На рис. 5.3 наведена функціональна схема процесу. Вихідне зерно з автомобільного транспорту перевантажується за допомогою пневмотранспорту в накопичувальний бункер 1 ємністю 5 т. Далі, похилим шнековим транспортером 2, воно подається в модернізований сито-повітряний сепаратор 3 типу БСХ-3. У

сепараторі замість двох ситових очисників, у корпусі встановлені трьох ситові очисники, що забезпечують відділення домішок основного й дрібного зерна, а також суміші мінеральних і пилоподібних фракцій. Очищене зерно надходить у роторно-лопатеву машину 4, у якій виконується ударно-фрикційна обробка покривних структур з видаленням зерна жита, через ситову обичайку. Подальша аеро-механічне очищення здійснюється в повітряному сепараторі 5.

Попередньо очищене зерно подається через магнітний сепаратор у першу абразивно-дискову луцильну машину 7, конструкція якої удосконалена авторами. В абразивно-дисковій луцильній машині, на основі фрикційної обробки, відбувається відділення покривних тканин зерна ячменя, які видаляються з машини пневмотранспортом. Для вловлювання великих часточок оболонок обробленого зерна використовується пневмо-розвантажувач циклонного типу 8 обладнаний ситовою перегородкою. Вивантаження відходів проводиться через поворотний дросельний клапан у м'яку тару по мірі їх нагромадження.

У лінії передбачається послідовна трьох ступенева обробка поверхні зерна, з використання другого та третього ступеня обробки на аналогічних машинах, до одержання готової продукції. На заключному третьому ступені виходить готовий продукт у вигляді цільної житньої крупи.

Надалі технологічно процесом передбачається можливість одержання дробленої житньої крупи. Для цього гвинтовим конвеєром крупа подається на перший вальцьовий верстат з поздовжньою й поперечною нарізкою рифлення щільністю 5 рифлень на сантиметр довжини. Дроблений продукт подається шнековим транспортером у повітряний класифікатор, у якому відбувається відділення борошнистої фракції в систему пневмотранспортування.

Дроблена крупа сортується в ситовому класифікаторі нової конструкції з набором чотирьох решіт, розміри отворів яких, підбираються відповідно до рекомендацій технології виготовлення не шліфованої крупи різних розмірів. У класифікаторі відбувається відокремлення фракцій великої, середньої й дрібної крупи, а також мучки, яка виходить у результаті подрібнення на вальцевому верстаті. Технологічним процесом також передбачена можливість виділення

сходового продукту великих фракцій, з передачею його на другий вальцовий верстат із щільністю рифлення 7 рифлень на сантиметр довжини вальця. Отримані фракції у вигляді готових номерних круп направляються в бункер готової продукції 11.

Технологічний процес лінії супроводжується вилученням пилових фракцій у машинах з використанням пилового вентилятора ВЦП-6 із груповим циклоном 4БСШ 10. Пилоподібна фракція із циклону виводиться в окремий бункер.

Розміщення цеху виконане в окремо розташованому одноповерховому будинку 10+18 м. Отриману готову продукцію передбачено фасувати в окремі пакети вагою 1 кг із використанням напіваавтомата АР-5.

Виконана контрольна перевірка дозволила встановити стабільну працездатність наведеного складу устаткування, що підтверджується даними висновку підприємства на відповідність їх вимогам до якості харчових продуктів. Технологічна схема випробуваного стенда розроблена у відповідності до технологічної схеми крупозаводу потужністю 15 т/добу.

Вплив режимних і конструктивних параметрів на енергетичні, технологічні характеристики виробничого зразка лушильної машини наведені на рис. 4.3. Отримані залежності підтверджують правомірності прийнятих при моделюванні процесів припущень по: силових полях, структурі потоку робочої зони елементів лушильної машини.

При роботі машини з робочими дисками Ø 450 мм, досягнуто зниження загальної витрати енергії до 20% з 22 Квт до 17,7 Квт. Продуктивність виросла на 25% з 1,5 т/год до 1,9 т/год, кількість абразивних дисків у порівнянні із прототипом А1-ЗШН-3 зменшено з 7 до 4 штук. Коефіцієнт лущення зерна жита підвищився на 14% при зниженні на 1,3 – 2,1% кількості подрібненого зерна.

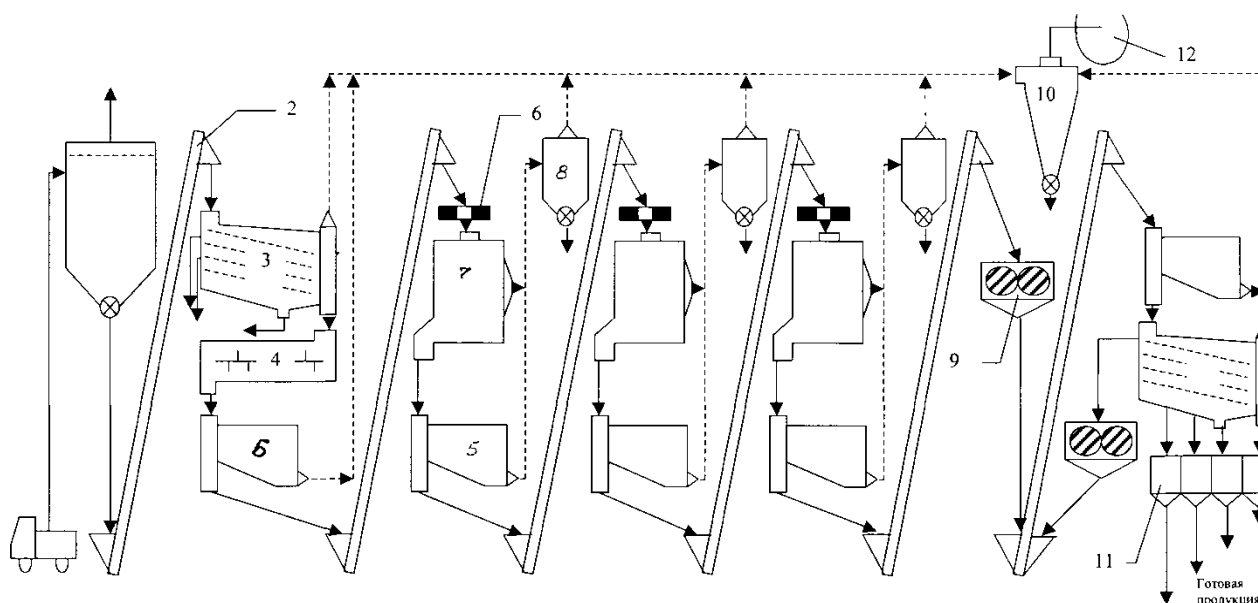


Рисунок 5.3. – Технологічна схема виробництва крупи на крупозаводі

1 – бункер вихідного зерна; 2 – шнек; 3 – ситовий сепаратор; 4 – роторна лопатева машина; 5 – повітряний сепаратор; 6 – магнітний сепаратор; 7 – абразивно-дискова машина; 8 – збірник відходів; 9 – вальцовий верстат; 10 – циклон; 11 – розвантажувальні бункери; 12 – вентилятор

Економічна ефективність застосування нового луцильного комплексу утворюється за рахунок збільшення виходу крупи й більш високих техніко-економічних показників модернізованого обладнання. Збільшення виходу крупи, ступеня обробки поверхні зернових матеріалів, досягається за рахунок зниження питомого навантаження на робочу поверхню, поліпшення перемішування сипучого середовища.

5.2. Техніко-економічне обґрунтування досліджень

Розрахунки економічної ефективності від впровадження у виробництво модернізованої луцильної машини виконували згідно «Методики визначення економічної ефективності капітальних вкладень і впровадження нової техніки на підприємствах по зберіганню й переробки зерна» економічна ефективність повинна визначатися на всіх стадіях проектування й впровадження нової техніки. Наведені нижче розрахунки виконані на основі результатів випробувань

дослідного зразка модернізованої лушильної машини А1-ЗШН-З.

У розрахунках лушильна машина А1-ЗШН-З порівнюється з модернізованою машиною А1-ЗШН-З разом з устаткуванням, необхідним для забезпечення її роботи.

Порівняння ведеться по устаткуванню, пов'язаному лише із процесом лущення зерна жита та використовується в порівняльних схемах під час випробувань на крупозаводі (див табл. 5.2).

Таблиця 5.2. – Кількість і вартість устаткування

Найменування устаткування	Кількість	Балансова вартість, грн.	
		одиниці	усього
Використанням машини А1-ЗШН-З	3	50000	150000
Використанням модернізованої машини А1-ЗШН-З	3	40000	120000

У розрахунках прийнято, що порівнювана кількість устаткування в обох випадках забезпечує роботу крупозаводу з однаковою продуктивністю – 800 кг/год (табл.5.3).

Вартість машин зазначена у відповідності з вартістю Дніпропетровського заводу «Продмаш» і виготовлення дослідного зразка.

Таблиця показує, що балансова вартість модернізованої абразивно-дискових машин А-1ЗШН-З нижче на 30000 грн. вартості машин А-1ЗШН-З.

Таблиця 5.3. – Розрахунки річного економічного ефекту від експлуатаційних витрат

Статті витрат	Використання машини А-1ЗШН-З	Використання модернізованої машини А-1ЗШН-З
1. Амортизаційні відрахування	32214	17346
2. Відрахування на поточний ремонт (50% від амортизаційних)	16107	8673
3. Усього експлуатаційних витрат за рік	48321	26019

Розрахунки показують, що при однаковій добовій продуктивності порівнюваного устаткування, тобто при порівняльному обсязі виробництва, річна сума експлуатаційних витрат при використанні модернізованої лушильних машин А-13ШН-3 зменшується на 22302 грн. або в 1,86 рази.

Річний економічний ефект від збільшення виходу продукції. Випробуваннями встановлено, що використання модернізованих лушильних машин А-13ШН-3 забезпечує збільшення загального виходу крупи на 4%. Для розрахунків економічного ефекту прийнято, що загальний вихід крупи відповідає 72%. За базисний варіант прийнятий фактичний вихід 68%, отриманий при випробуваннях під час роботи машин А-13ШН-3.

Розрахунок економічного ефекту заснований на визначенні вартості продуктів, отриманих з однієї тони зерна, що переробляється:

$$E = \frac{B_1 \cdot Ц}{100} - \frac{B_2 \cdot Ц}{100}, \quad (5.1)$$

де: B_1, B_2 – вихід крупи, %

$Ц$ – оптова ціна, грн/т.

$$E = \frac{72 \cdot 6000}{100} - \frac{68 \cdot 6000}{100} = 240 \text{ грн.}$$

Річний обсяг переробки зерна за 300 днів становить 5760 т. Отже, річний економічний ефект від збільшення виходу крупи складе $P = 5760 \cdot 240 = 1382400 \text{ грн.}$

Загальна сума річного економічного ефекту

Застосування модернізованих лушильних машин А1-3ШН-3 у порівнянні з машинами А-13ШН-3 зменшують експлуатаційні витрати на 22302 грн./рік.

Одночасно за рахунок збільшення виходу крупи забезпечується економічний ефект у сумі 1382400 грн.

Отже, впровадження модернізованої лушильної машини А1-3ШН-3 може принести підприємству економію в сумі $22302 + 1382400 = 1404702 \text{ грн./рік.}$

Додаткові капітальні вкладення в сумі 21000 грн. за рахунок економії, що дорівнює 11826 грн. у рік, окупляться за термін: $T = \frac{21000}{1404702} = 0,02 \text{ років}$

Враховуючи те, що галузевий нормативний термін - 5 років.

Таким чином, розрахунки економічної ефективності за результатами випробувань дослідного зразка показують, що впровадження у виробництво модернізованої луцильної машини А1-ЗШН-З є економічно ефективним.

Висновки за розділом 5

1. Отримане підтвердження гіпотези про пропорційність інтенсивності луцення зерна квадрату швидкості абразивних кіл, встановлений зворотній зв'язок питомої витрати енергії луцення, кількості відокремлюваних оболонок від продуктивності абразивних луцильних машин.

2. Обґрунтована схема робочої зони й область раціональних значень частоти обертання абразивних дисків $\omega = 900 \dots 1300 \text{ об/хв}$, схема подачі – кути напрямних конусів $\alpha = 20 \dots 30^\circ$, радіальний зазор $\delta = 10 \dots 15 \text{ мм}$, а також розроблені рекомендації з розрахунку луцильних машин.

3. Результати наукового обґрунтування схеми й параметрів луцильної машини реалізовані в модернізованому експериментальному зразку, який випробуваний у виробничих умовах.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У магістерській дипломній роботі наведене узагальнення і нове вирішення наукового завдання, що виявляється в модернізації конструкції машини А1-ЗШН-3 для відокремлення покривних тканин зерна жита. Це дозволило підвищити продуктивність виконання технологічного процесу відокремлення покривних тканин зерна жита, за рахунок інтенсифікації процесів обробки поверхні зерна.

1. Комплекс проведених аналітичних і експериментальних досліджень підтвердив можливість стабілізації технологічної ефективності, мінімізації по стадійності процесів відокремлення покривних тканин зерна жита.

2. Розроблена математична модель абразивного лущення, яка пов'язує фазові зміни однорідності й рівномірності обробки зерна, кінетики й статички лущення з динамічною формозміною й деформуванням зернового потоку при суміщенні внутрішніх і зовнішніх сил комплексної деформації.

3. На підставі ймовірної моделі визначення характеристик енергетичних витрат на процес лущення розроблена аналітична методика оцінки рівномірності обробки поверхні зернівок, яка дозволяє обґрунтувати тривалість раціонального часу для заданої якості лущення жита.

4. Обґрунтована схема робочої зони й область раціональних значень частоти обертання абразивних дисків $\omega = 900 \dots 1300 \text{ об/хв}$, радіальний зазор $\delta = 10 \dots 15 \text{ мм}$, схема подачі – кути напрямних конусів $\alpha = 20 \dots 30^\circ$, а також розроблені рекомендації з розрахунків лущильних машин.

5. Виробничими дослідженнями лінії лущення й виробництва круп з використанням розробленої модернізованої машини для відокремлення покривних тканин зерна жита на крупозаводі встановлено стабільну працездатність комплексу при фактичній продуктивності 800 кг/год з річним економічним ефектом 1382 тис. грн.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. *Bakshi A.S.* Kinetics of water diffusion and starch pelatinization during rice parboiling. / A.S. Bakshi, R.P. Singh // *J. Food Sci.* – 1980. – 45 – P. 1387.
2. *Bourdet A.* Distribution of phosphorus as corn-pounds in the protein fraction of various tips of wheat flours. / A. Bourdet, P. Feillet // *Cereal Chem.* – 1967. – V. 44, №5. – P. 457–482.
3. *Wyss E.* Neue Wege beim Scheuem und Netzen von Getreide // *Getreide, Mehl und Brot.* – 1975. – № 2. – S. 36–39/
4. *Rumpf H.* Prinzipien und neuere Verfahren der Windsichtung / H. Rumpf, K. Leschonnski // *Chemie - Ingenieur - Technik.* – 1967. – 39, H21. – S. 1231/41.
5. *Tschierch R.* Mtenensive-Thermo-Trockenreinigung von Getreide und Hulsenerfruchten // *Muhle + Mischfuttertechnik.* – 1978. № 115. – P. 80–85.
6. *Stenvert N.* An autoradiographic demonstration of the penetration of water into wheat during tempering / N. Stenvert, K. Kingswood // *Cereal Chem.* – 1976. – V.53, №2. – P. 141–149.
7. *Handreck B.* Zum Schalen von Mähl-weizen / B. Handreck, L. Potschke, B. Muller // *Getreidewirtschaft.* – 1981. – № 8. – S. 181–182.
8. *Crank I.* The Mathematics of Diffusion, 2 nd ed.// *Cereal Chem.* – 1976. – V.53, №3. – P. 308–317.
9. *Mac Masters M., Hinton I., Bradley D.* Microscopic structure and composition of wheat kernel / M. Mac Masters, I. Hinton, D. Bradley // *Wheat-Chem. And Techn.* – 1971. – №5. – P. 52–144.
10. *Wessel I.* Schwerkraftwindsichter. // *Aufbereitungs Technik.* – 1962. Bd.3. – N5. – S. 222–230.
11. *Wessel I.* Vtrgleichende Untersuchungen an Schwerkraft-windsichtem. // *Grondlagen der Landtechnik.* – 1963. – H.18. – S.27–36.
12. *Nagel R.* Klassifizierung der Windsichter. // *Staub-Reinhalt. Luft.* – 1968. – B.28. – N6.

13. *Дударев И.Р.* Диффузия влаги оболочек зерен в начальной фазе увлажнения. // Тез. VIII Международ. конгресса по зерну и хлебу, Лозанна, Швейцария, 1988. – (анг.).
14. *Дударев И.Р.* Методологічні аспекти застосування нових машин для одержання із зерна екологічно чистих продуктів. / І.Р. Дударев, П.І. Шевченко // Матеріали міжнародної конференції. / ОДГУ – О., – 1999. – С. 502–507.
15. *Гросул Л.І.* Перспективи лушення та шліфування з метою дезактивізації зерна і знезараження посівних угідь. / Л.І. Гросул, О.І. Гапонюк, П.І. Шевченко // Зернові продукти і комбікорми. – 2004. – №3. – С. 40 – 44.
16. *Шипко І.М.* технологічний критерій ефективності процесу лушення-шліфування. // Зб.наук.праць / ОДАХТ. – О. – 2001. 21с.
17. *Шипко І.М.* Результаті впровадження лущильно-шліфувальної машини у виробництво. / І.М. Шипко, Л.Г. Гросул // Тр. 56-й наук.конф. ОДАХТ.–1996.
18. *Гапонюк О.І.* Експериментальне обґрунтування параметрів нових лущильно-шліфувальних машин. / О.І. Гапонюк, П.І. Шевченко // Зернові продукти і комбікорми. – 2003. – №4. – С.51–53.
19. *Останчук Н.В.* Основи математичного моделювання процесів харчових виробництв– К.: Вища школа, 1981. – 304с.
20. *Шевченко П.І.* Лінія лушення і виробництва стартових комбікормів і крупи з зерна ячменю. // Тр. / ОДСГІ – О. – 2000. – №3(11). – С.63–68.
21. *Закон України* про екологічну експертизу від 5.02.1995р. – К. 1995
22. *Закон України* про охорону праці від 14.10.1994 р. – К.: 1995.