

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра безпеки життєдіяльності

Пояснювальна записка
до дипломної роботи на здобуття ступеня вищої освіти
«магістр»
бакалавр, магістр

на тему: «Підвищення довговічності робочих органів зернових
подрібнювачів роторного типу»

Виконав: здобувач вищої освіти за
освітньо-професійною програмою
Технології і засоби механізації
сільськогосподарського виробництва
назва ОПП
спеціальності 208 Агроінженерія
код та найменування спеціальності
ступеня вищої освіти «магістр» групи 2
Кулик Я.С.
Прізвище та ініціали здобувача вищої освіти
Керівник: Дудник В.В.
Прізвище та ініціали керівника
Рецензент: Горбенко О.В.
Прізвище та ініціали рецензента

Полтава – 2021 року

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи: 55 с., 14 рис., 6 табл., 3 додатки, 28 джерел.

Об'єкт дослідження - робочі органи роторної дробарки.

Мета роботи - підвищення довговічності подрібнювача зернових матеріалів роторного типу.

Методи досліджень - теоретичні дослідження виконувалися з використанням основних положень, законів і методів класичної механіки, математики та статистики. Експериментальні дослідження проводилися в лабораторних умовах на основі загальноприйнятих методик. Розрахунки і обробка результатів експериментальних досліджень виконувалися з використанням ЕОМ та пакета прикладних програм.

Результати роботи полягають в отриманні аналітичних залежностей продуктивності та енергоємності процесу подрібнення, що враховують знос робочих органів дробарки та запропонована модель оцінки ефективності роботи роторної дробарки, що враховує якість подрібнення і довговічність робочих органів.

Ступінь впровадження - за результатами досліджень дано рекомендації, що можуть бути використані при проектуванні і вдосконаленні робочих органів роторної дробарки.

Техніко-економічного розрахунку показали, що впровадження такої роторної дробарки в лінію подрібнення зернових матеріалів із середнім об'ємом переробки 334 т/рік дозволяє знизити енергоємність на 7%, підвищити продуктивність на 25%, отримати річний економічний ефект 68127 грн., при терміні окупності 0,1 року.

Ключові слова: ЗЕРНО, КОМБІКОРМ, РОТОРНА ДРОБАРКА, ПРОЦЕС ПОДРІБНЕННЯ, ПРОТИВОРІЗ, ПРОДУКТИВНІСТЬ, РОБОЧІ ОРГАНИ, ДОВГОВІЧНІСТЬ.

ЗМІСТ

	ВСТУП.....	7
1	СТАН ПИТАННЯ ТА ВИБІР НАПРЯМУ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	9
	1.1 Подрібнення зернофуражу в сільському господарстві	9
	1.2 Підходи до підвищення	
	довговічності подрібнювачів роторного типу	12
	1.2.1 Аналіз методів підвищення	
	зносостійкості подрібнювачів зернових матеріалів	12
	1.2.2 Передумови щодо підвищення	
	довговічності подрібнювачів роторного типу	16
2	МЕТОДИКА Й ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	22
	2.1 Мета і програма експериментальних досліджень	22
	2.2 Методика експериментальних досліджень	
	щодо підвищення довговічності роторної дробарки	23
	2.3 Розробка матриці і методики	
	проведення багатофакторного експерименту	26
3	РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	31
	3.1 Результати проведення багатофакторного	
	експерименту по визначенню зносостійкості	31
	3.2 Оцінка надійності процесу подрібнення	
	роторної дробарки з урахуванням зносу протилежності	33
	3.3 Прогнозування довговічності	
	роторної дробарки для різних	
	варіантів конструктивних виконань	35
	3.4 Визначення продуктивності	
	експериментальної роторної дробарки	41

4	РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ РОЗРОБОК.....	44
4.1	Екологічна експертиза.....	44
4.2	Охорона праці	47
4.2.1	Актуальність проблеми безпеки людини у виробничому середовищі	47
4.2.2	Вимоги безпеки при роботі на установці	48
4.2.3	Аналіз формування травмонебезпечних ситуацій	49
4.3	Розрахунок техніко-економічної ефективності впровадження результатів дослідження	50
	ВИСНОВКИ.....	54
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	56
	ДОДАТКИ.....	59

ВСТУП

Однією з основних операцій підготовки кормів до згодовування є подрібнення зернових матеріалів до заданих розмірів. Як показують дослідження, підвищення продуктивності тварин забезпечується як за рахунок збалансованості кормів по необхідних елементах живлення, так і вирівняності гранулометричного складу матеріалу подрібненого зерна. При цьому, найбільш поширені в лініях приготування комбикормів молоткові дробарки, що забезпечують задану ступінь подрібнення зернових матеріалів, але в готовому продукті міститься в середньому 20% всіх частинок, 30% пилоподібних фракцій і лише 50% подрібненої маси, що відповідає зоотехнічним вимогам. Для забезпечення надійності і ефективності процесу подрібнення зернових матеріалів, необхідно дотримуватися заданих параметрів при поділі зернівок на частини, які безпосередньо залежать від конструктивно-технологічних схем і довговічності робочих органів дробарок і подрібнювачів кормів.

В даний час перспективним напрямком є використання в лініях приготування кормів подрібнювачів, що реалізують в своїх конструктивно-технологічних схемах енергоефективні способи руйнування зернівок зрізом і сколюванням в ударно-відцентрових і роторних дробарках. Вони успішно застосовуються як в особистих та фермерських господарствах, так і в кормоцехах сільськогосподарських підприємств. Вирівняність гранулометричного складу в цих подрібнювачах становить не менше 80%. Аналіз показує, що виконані дослідження спрямовані, в основному, на забезпечення цих важливих якісних показників, і в них не розглядалися питання довговічності робочих органів подрібнювачів. Разом з тим, якісні характеристики таких способів подрібнення забезпечуються дотриманням встановлених робочих зазорів, величини яких визначають як зносостійкість деталей подрібнювачів, так і зношувальною здатністю зернових матеріалів.

Дослідження подрібнювачів в більшості своїй спрямовані на вдосконалення конструктивно-технологічних схем подрібнення, визначення

оптимальної конструкції або режимів його роботи. При цьому аналіз показує, що особливу значимість в даний час набуває розробка питань підвищення довговічності робочих органів подрібнювачів зернових матеріалів роторного типу, що реалізують енергоефективні способи подрібнення зрізом і сколюванням, і забезпечують необхідну вирівняність гранулометричного складу подрібненого зерна.

Актуальність роботи полягає у підвищенні довговічності подрібнювачів зернових матеріалів роторного типу, за рахунок вдосконалення конструктивно-технологічних схем подрібнення, підбору конструкційних матеріалів робочих органів дробарок і обґрунтування їх режимів роботи з урахуванням умов їх застосування.

Мета дослідження є підвищення довговічності подрібнювача зернових матеріалів роторного типу.

Об'єкт дослідження є робочі органи роторної дробарки.

Предмет дослідження є закономірності зносу робочих поверхонь робочих органів роторної дробарки.

Методи досліджень полягають в теоретичному дослідженні основних положень, законів і методів класичної механіки, математики та статистики. Експериментальні дослідження проводилися в лабораторних умовах на основі загальноприйнятих методик. Розрахунки і обробка результатів експериментальних досліджень виконувалися з використанням ЕОМ та пакета прикладних програм.

Наукова новизна полягає в отриманні аналітичних залежностей та математичної моделі формування ресурсу робочих органів роторної дробарки, що враховує інтенсивність їх зношування;

Практична значимість полягає в отриманні аналітичних залежностей продуктивності та енергоємності процесу подрібнення, що враховують знос робочих органів дробарки та запропонована модель оцінки ефективності роботи роторної дробарки, що враховує якість подрібнення і довговічність робочих органів.

1. СТАН ПИТАННЯ ТА ВИБІР НАПРЯМУ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Подрібнення зернофуражу в сільському господарстві

Зміцнення і розвиток тваринництва залежить від створення надійної кормової бази, а це неможливо без переробки зернових матеріалів. Щоб забезпечити найкращу перетравлюваність кормів поживні речовини, які входять до їх складу, надають в корм тваринам в найбільш засвоюваному вигляді. Годування включає в себе до 60-70% собівартості всієї продукції [1, 2, 3, 4, 5, 6].

Удосконалення подрібнювального обладнання тягне за собою ряд проблем, пов'язаних з перевитратою енергії, вичерпанням дорогої сировини для його виготовлення і зернових матеріалів для переробки в ньому. При цьому вимоги до якості подрібнення тільки підвищуються. Відсутність некондиційних фракцій і вирівняність гранулометричного складу визначають з удосконаленого робочого процесу в подрібнювальних машинах. Однак більшість традиційних подрібнювальних машин не може забезпечити подальше підвищення ефективності та надійності цього процесу [1, 4, 5, 6, 7].

Види рослинних кормових матеріалів діляться на: грубі (полова, сіно); соковиті (баштанні культури, силос); зелені (бадилля, трави,); концентровані (зерно, макуха, комбікорм та ін.). Підживлення бувають наступних видів: мінеральні (сіль, крейда та ін.), вітамінні, спеціальні збагачувальні суміші з мікроелементами (залізо, мідь, кобальт і ін.). Поряд з корисними мікроелементами в вихідній зерновій сировині присутні мінеральні домішки або абразивні частинки, які знижують експлуатаційні властивості подрібнювачів за рахунок зносу робочих органів [5, 8, 9].

Процес подрібнення зернового матеріалу це зниження розмірів зернівок до необхідних значень за рахунок механічного впливу плющенням, помелом, дробленням і іншими способами. Це обумовлює особливості фізіології годування тварин і необхідно для підвищення загальної поживності зерна (руйнування крохмалю, зміни якості білка). Концентровані комбікорми в раціоні ВРХ

складають до 60%, птиці та свиней - до 95% [1, 3, 5, 8, 10].

Аналіз накопиченого досвіду по годівлі тварин і птиці показує, що ефективність кормів залежить не тільки від поживності його складу, виду та віку тварин, а й від крупності помелу вихідних частинок зернофуражу. У зв'язку з цим, проводяться різні дослідження і встановлюються міжнародні норми, які рекомендують і регулюють гранулометричний склад, поживність і інші властивості комбікормів [3, 5, 10, 11, 13].

У зв'язку з цим цікавими є дослідження, проведені в Канзаському державному університеті США. Вченими проводилися випробування по впливу розміру часток корму на зміну продуктивності свиней. Вони установили, що молодняк свиней краще переживує корм, тому корми більш тонкого помелу краще давати свиням на відгодівлі. Середній щоденний приріст від скорочення розміру часток корму не змінювався, а його потреба зменшувалася. Оптимальний розмір частинок зафіксований в діапазоні 500-700 мікрон. Для свиней, які отримували корм, подрібнений до 500 мікрон, його ефективність зросла на 6% на відміну від групи свиней, яких годували зерном з розміром частинок 900 мікрон. При цьому якщо скорочувати розмір часток подрібненого зернофуражу з 700 до 500 мікрон продуктивність готування корму знижується. Дослідники з Канзаського державного університету вважають, що оптимальний розмір зернової частки корму 700 мікрон, при якому досягається баланс між ефективністю роботи комбікормового заводу і продуктивністю свиней [5, 10, 11].

Ці висновки підтверджує своїм дослідженням І.Ф. Ткачов [11], зі зміни добового приросту при відгодівлі свиней зерном різного помелу, результати якого представлені в табл. 1.1.

Негативною стороною низького ступеня подрібнення є те, що вона призводить до розпорошення часток зерна і швидкому проходу їх через травний тракт, викликаючи захворювання у сільськогосподарських тварин (переважно у великої рогатої худоби та птиці), веде до втрат корму, і знижує загальну ефективність від його застосування [5, 12].

Таблиця 1.1 - Годування свиней зерновим кормом різної тонкості помелу

Вид помелу	Кукурудза		Ячмінь		Кормова суміш	
	Перетравлюваність органічної речовини, %	Добовий приріст, г	Перетравлюваність органічної речовини, %	Добовий приріст, г	Перетравлюваність органічної речовини, %	Добовий приріст, г
Ціле зерно	74,4	587	67,1	490	-	-
Великий помел	88,4	672	79,3	556	74,3	638
Середній помел	93,8	722	81,8	599	75,4	714
Дрібний помел	94,9	755	84,6	631	77,3	759

Залежно від виду та вікової категорії тварин гранулометричний склад кормів різниться. Вимоги ГОСТ Р 54379-2011 регулюють крупність частинок комбікормової крупи для згодовування сільськогосподарським тваринам [5, 13].

Найчастіше дані досліджень не завжди відповідають чинним стандартам і використовуваним в господарствах зоотехнічним вимогам. Наприклад, вчені з США стверджують, що розмір часток корму для свиней повинен бути 500-900 мікрон (0,5-0,9 мм), а по ГОСТ Р 54379-2011 він не повинен мати більше 18-20% частинок менше 1 мм.

Таким чином, різні умови утримання, вид і вік, кліматичні умови та інші численні фактори не дозволяють встановити загальні норми або стандарт. Тому однорідність гранулометричного складу кормів частіше визначають індивідуально в кожному окремому випадку.

Низьке якість готових концентрованих кормів знижує ефективність використання зернофуражу до 35%, а в умовах нестабільного ринку та високу вартість компонентів комбікорму, дана проблема стає все більш актуальною [5, 14].

Процес подрібнення зернових матеріалів супроводжується утворенням пилоподібної фракції і наявністю в готовому продукті цілих, не зруйнованих, зернівок, які не відповідають зоотехнічним вимогам, заданого помелу і порушують вирівняність гранулометричного складу. Великі частинки звичайно піддаються повторній переробці. А занадто подрібнені частки за рахунок свого розміру можуть працювати на знос робочих поверхонь в середовищі абразиву і

знижувати ефективність процесу подрібнення, якщо не здійснювати очистку [6, 13, 14].

Знос робочих поверхонь знижує довговічність і надійність обладнання, що працює в різних умовах. Абразивне зношування присутнє в дуже великій кількості подрібнювальних машин і механізмів і відрізняється найбільш інтенсивним характером зносу. Довговічність деталей і робочих поверхонь подрібнювача можна підвищити з урахуванням достовірної інформації про механізм руйнування в середовищі абразиву [12].

Подрібнювальне обладнання підприємств морально застаріло і сильно зношене. При цьому, щоб його замінити необхідні великі фінансові вкладення, а іноді і переобладнання всієї переробної лінії, що є непосильним для багатьох господарств. Пошуки більш зносостійких, менш дорогих матеріалів і технологій, які забезпечать збільшення довговічності роботи деталей, що зношуються, стає першорядною науковою задачею. Тому завдання підвищення зносостійкості робочих органів подрібнювачів є актуальною і вимагає експериментальних і теоретичних досліджень [12, 15].

1.2 Підходи до підвищення довговічності подрібнювачів роторного типу

1.2.1 Аналіз методів підвищення зносостійкості подрібнювачів зернових матеріалів

Питанням розробки теоретичних і практичних досліджень зносу робочих органів подрібнювачів зернових матеріалів присвятили свої праці С.В. Мельніков, В.П. Горячкин, А.Т. Лебедев, О.Н. Моїсєєв, А.А. Петров та ін. [4, 9, 12, 16].

Більшість з них направлено на дослідження зносостійкості робочих органів в молоткових дробарках. Це пояснюється порівняно недавнім застосуванням подрібнювачів, які працюють за принципом сколювання і зрізу. Така технологія

дозволяє знизити кількість впливів на зерно до його зруйнування і як наслідок знижує енергоємність процесу. Однак головною перевагою є отримання готового продукту вирівняного по гранулометричному складу з низьким вмістом борошняних (пилоподібних) фракцій. Серед подрібнювачів даного типу найбільшою ефективністю відрізняються роторні та відцентрово-роторні дробарки [5].

При цьому ефективність цих конструкцій дуже залежить від геометричних параметрів робочих поверхонь, що взаємодіють з продуктом і вразливі до їх зносу. Розробкою таких конструктивно-технологічних схем займалися Н.С. Сергєєв, Іскендеров і ін. вчені [5, 17].

Високої якості (низький вміст пилоподібної фракції до 10% при вирівнюваності гранулометричного складу до 90%) дозволяють досягати вальцові дробарки, які мають рифлену поверхню вальців, нарізану в різних конфігураціях. Однак вони мають ряд, описаних вище, недоліків, які не дозволяють купувати і використовувати їх [12].

У порівнянні з вальцовими, горизонтальні роторні дробарки мають більш просту конструкцію, але дозволяють виробляти аналогічну по точності встановлення робочих характеристик і конструктивних параметрів. Це досягається за рахунок наявності лише одного рушійного елемента (ротора) і локалізованої зони поділу на частини (при взаємодії пари ротор-противоріз) із перехідного зернового матеріалу [35].

Для того щоб визначити найбільш ефективні та перспективні методи щодо підвищення зносостійкості роторної дробарки потрібно звернутися до досліджень зносу робочих органів в молоткових і вальцових дробарках. Є певний накопичений досвід дослідження зносостійкості цих подрібнювальних машин, за рахунок широкого використання їх в різних технологічних процесах кормоприготування [6, 9, 12, 14, 15, 18].

За належної попередньої очистки зерна, що надходить в порожнину дробарок, переважати в них буде абразивний знос робочих поверхонь за допомогою мінеральних домішок, що знаходяться в загальній масі вихідного

фуражного зерна.

Найбільшому зносу піддаються вальці, які схильні до інтенсивного нерівномірного зношування робочих поверхонь при обробці міцних і абразивних матеріалів. Ремонтують їх на спеціалізованому обладнанні для нарізки рифлів. Після ремонту їх вимірюють на циліндричність, а при установці на місце ретельно перевіряють висоту і еластичність пружин. Також перевіряється паралельність валків, зазори між ними, нагрів підшипників, наявність вібрації, роботу пружин і всіх регулювальних гвинтів [5].

Процес технічного обслуговування і ремонту є не тільки трудомісткою операцією, а й вимагає спеціалізованого обладнання та навченого персоналу. Навіть незначне порушення технологічних зазорів і конструктивних параметрів при нарізці вальців може привести до зниження ефективності або відмови дробарки [9].

Найбільшого поширення, незалежно від розміру господарства при подрібненні зернових матеріалів отримали молоткові дробарки. Проте практика їх експлуатації показала, що існує проблема надмірного зносу робочих органів і низької якості подрібнення зернового матеріалу, яке істотно знижується при підвищенні його вологості.

Досвід показує, що мінімальний ресурс в молоткових дробарках мають молотки (термін їх служби складає від 72 до 300 годин). Ресурс інших робочих органів до 2 разів вище. Проте така тенденція приводить до необхідності проведення близько 50 технічних обслуговувань подрібнювача на рік. Ефективність використання молотків полягає в напрацюванні їх до граничного стану, тому точне прогнозування їх ресурсу є визначальним при підвищенні надійності технологічного процесу [9].

Через таку суперечливість, недоліки часто переважають позитивну сторону молоткових дробарок (універсальність, широкий діапазон дроблення, слабкий нагрів продукту). Недостатня і неповна теоретична база, навіть,

незважаючи на багаторічні дослідження, призводить до того, що навіть незначна зміна вихідної форми молотка або її зміна в процесі роботи призводить до множинних слабо прогнозованих факторів, які знижують ефективність дробарки і ресурс робочих органів [9].

Дослідження жорстко закріплених молотків, що проводили Лузін П.М., Мойсеев О.Н. і ін. вчені, показали, що питомий знос молотків залежить від виду вихідного матеріалу і від властивостей матеріалу, з якого виготовляється сам молоток [9].

Золотова А.А. в своїх дослідженнях пропонувала зміцнювати робочий край молотка для запобігання передчасного зносу і дестабілізації обертання ротора. При цьому глибина і необхідна твердість зміцнених поверхонь нею не була досліджена [9].

В рамках даного питання наочним є експеримент, проведений в Ставропольському краю. На молоткову дробарку ДМ-10 встановили нове решето і молотки, для приготування комбікорму великого модуля помелу. За 35 днів роботи дробарки (щотижня проводився відбір наважок по 5 кг) щотижневий намел становив близько 300 т. Модуль помелу визначався відповідно до ГОСТу 13496.8-72 [15].

Як видно на графіку рис. 1.1, середній розмір частинок в перший період роботи склав 1,72 мм при $M=1,8...2,6$ мм, тобто в готовому продукті утримувалось більше дрібних частинок. Надалі спостерігалось збільшення середнього розміру часток. На початку експлуатації дробарки пере подрібнена фракція складала 42,4%, недоподрібнена - 15,2%, а в кінці 26,2% і 26,8%, відповідно. Це пояснюється зносом молотків, які втратили в середньому 4,5 кг від початкової маси в 24,7 кг і решета дробарки. За весь експеримент кількість подрібненої маси відповідної заданому модулю помелу не перевищувало 47%. І хоча середній розмір часток знаходився в заданому діапазоні, фактично тільки половина кормової суміші відповідала зоотехнічним вимогам [15].

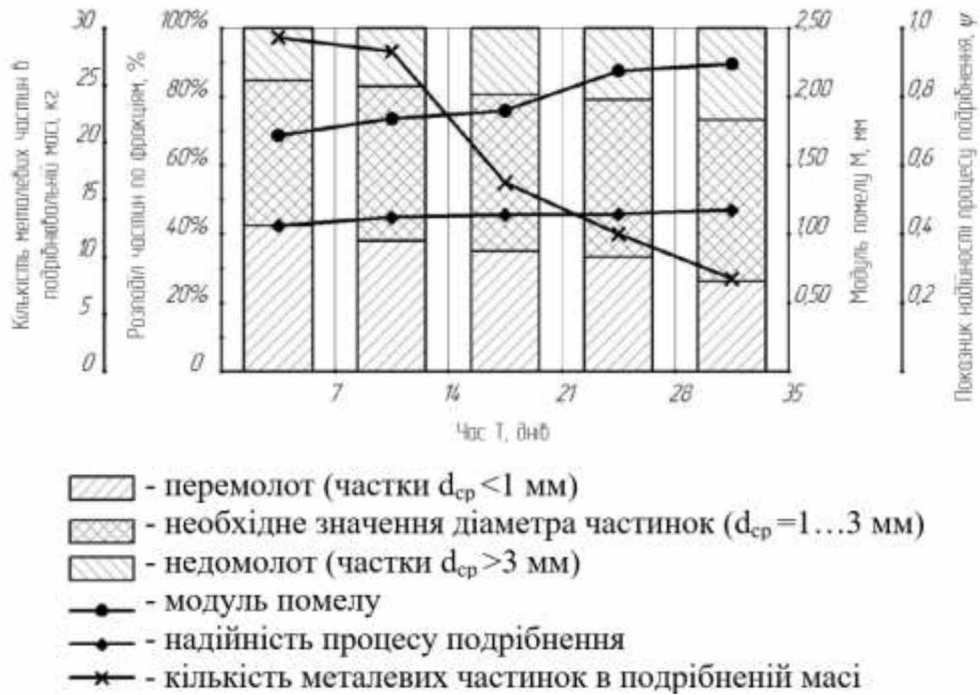


Рисунок 1.1 - Експериментально визначені показники помелу дробарки ДМ-10

Таким чином, з зносом робочих органів дробарки буде змінюватися і ступінь подрібнення вихідного матеріалу. Проте в розробці теорій, підвищення ефективності роботи подрібнювачів цей фактор або не розглядають, або відносять до окремого експериментального дослідження. В доповнення до всього все частіше піднімається питання про доцільність використання і виготовлення молоткових дробарок, і заміни їх більш сучасними конструкціями, що забезпечують найкращі питомі показники при якісному подрібненні.

Розробка нових і модернізація існуючих конструкцій дробарок, для забезпечення тварин якісними кормами стає все більш актуальним завданням на тлі щорічного зростання цін на продовольчу сировину [5, 9, 15, 18].

1.2.2 Передумови щодо підвищення довговічності подрібнювачів роторного типу

Використання роторних дробарок при подрібненні зернофуражу до цього часу має нечисленний характер. Це відбувається через слабку пропрацьованість номенклатури процесів під час їх роботи, в тому числі процесу зносу робочих

органів [5].

З кінематики процесу роторна дробарка схожа з молотковою, але розділення в ній зернівки на частини відбувається при кожній взаємодії з робочими органами. При цьому в конструкції роторної дробарки можна реалізувати енергоефективність способу впливу на вихідний продукт зрізом (сколюванням), аналогічним використовуваному в вальцьових дробарках [5, 7, 19].

Запропонована в роботі [5] схема подрібнення зернового матеріалу, дозволяє досягати хороших показників ефективності процесу. Але для роботи в виробничих умовах фермерських господарств необхідно вивчити питання, пов'язані з напрацюванням робочих органів роторних дробарок до граничного зносу.

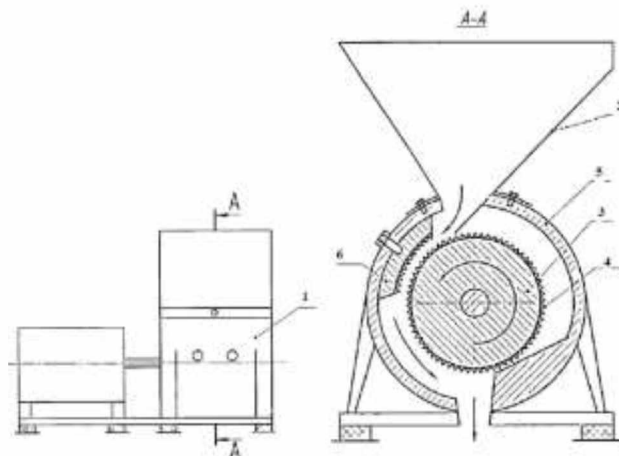


Рисунок 1.2 - Схема роторної дробарки

В роторній дробарці 1 (рис. 1.2) поділ матеріалу на частини відбувається за допомогою дотичного напруження зсуву, способом «сколювання-зріз». Зернівки, з завантажувального бункера 2 через завантажувальне вікно наповнюють дробильну камеру і потрапляють в пази (рифлі) 4 ротора 3. Далі вони транспортуються до різальних елементів (противоріз з рифлями) 6 статора 5, де і відбувається їх поділ на частини. Простір між ротором і статором заповнюється, як вихідним продуктом, так і вже зрізаними частинами зернівок. Таким чином, отримані за один і більше зріз частки виводяться через розвантажувальне вікно [5].

Розмір робочого зазору між рифлями буде характеризувати те, що відбувається руйнування, тобто приводить до виникнення згинальної сили і саме тут буде спостерігатися максимальний тиск на робочі поверхні [16, 20].

На підсумковий результат впливають положення зернівок в момент поділу, значення робочого зазору, форма, кількість і геометрія рифлів статора і ротора, фізико-механічні властивості зернівок, коефіцієнт заповнення, і заданий модуль помелу [5, 18, 19].

В результаті досліджень [5] була обґрунтована конструкція малогабаритної роторної дробарки з горизонтальною орієнтацією ротора і наступними конструктивними і робочими характеристиками:

- діаметр ротора повинен бути мінімум $D = 0,1$ м;
- виконання нарізки рифлів (крок t , висота h і кількість $n_{\text{р}}$) ротора і статора має відповідати подрібненому матеріалу при заданому модулі помелу, наприклад одна рифля (противоріз) на статорі для середнього та грубого помелу і т.д. [5].

Керуючись зафіксованими в роботі [5] оптимальними режимами при подрібненні зернових матеріалів в роторній дробарці, необхідно визначити вплив факторів, пов'язаних із зносом робочих поверхонь в цих експлуатаційних умовах при встановлених робочих параметрах. А саме при лінійних швидкостях в межах 4,5...6,5 м/с, робочому зазорі від 0 до 0,8 мм і різних модулях помелу.

При середньому помелі зернового матеріалу (пшениця, ячмінь, овес, кукурудза) вирівняність гранулометричного складу була 91,98%, що відповідає фактичній результативності процесу $\Phi_{\text{ри}} = 9,2...61,5$.

Поділ зернівок в конструкції дробарки [5] розглядався в зоні найбільшого зближення робочих поверхонь ротора і статора, а саме по горизонтальній осі ротора. Тому певний інтерес може мати перенос зони подрібнення в порожнині дробарки ближче до зони виведення продукту, що має додатково знизити вплив сил інерції, що порушують «спокійний» прохід матеріалу від завантаження до зони зрізу.

Також в роботі [5] була запропонована формула продуктивності

горизонтальної роторної дробарки, що враховує ступінь подрібнення і коефіцієнт заповнення, але ігнорує показник зносу робочих поверхонь:

$$Q = l \cdot \frac{D_q}{\lambda} \cdot v_p \cdot \rho \cdot n_n \cdot k_3, \quad (1.1)$$

де l – довжина ротора, м;

D_q – вихідний розмір частини, наприклад D_e , м;

v_p – лінійна швидкість в зоні зрізу, м/с;

ρ – щільність зернового матеріалу, кг/м³;

n_n – пази на роторі, шт.;

k_3 – коефіцієнт заповнення порожнини дроблення.

Значення коефіцієнта заповнення також вимагає додаткового обґрунтування, тому що складає близько $k_3 = 0,06 \dots 0,1$, що менше значення $k_3 = 0,2$ цього ж коефіцієнта в вальцьових верстатах, взятих в якості прикладу для конструктивно-технологічної схеми.

При цьому, проведений в розділі аналіз показав, що в робочій порожнині роторної дробарки переважатиме абразивний знос. Як абразив будуть виступати не тільки мінеральні домішки, але і найдрібніші частинки вихідного продукту [21].

Абразивне зношування згубно впливає на металеві робочі поверхні. Його особливість полягає в прямому руйнуванні поверхневого шару, яке в кожен даний момент часу становить незначну частину від числа загальних контактів абразивних частинок з поверхнею. Абразив в порожнині роторної дробарки формується в основному за рахунок наявності в загальній масі зерна мінеральних домішок. Вивчення причин та наслідків інтенсивності зношування робочих поверхонь цими частками дозволить збільшити довговічність робочих поверхонь і передбачити заходи щодо його часткового або повного усунення [12, 21].

ГОСТ 54078-2010 регламентує вміст у кормовій пшениці різних бур'янів домішок. До засмічених домішок відносять і мінеральну (грудочки землі, гальку, частинки шлаку, руди). Мінеральні домішки згідно з державним стандартом не повинні перевищувати 1% від загальної маси. Складові мінеральної домішки

володіють фізико-механічними властивостями, що значно відрізняються від зернових, що тягне за собою проблеми при транспортуванні, зберіганні і переробці перенасиченої ними маси зернових матеріалів.

Так, наприклад, згідно з рядом досліджень з подрібнення зерна пшениці [5, 12, 14] одним з найважливіших факторів, що впливають на ефективність процесу, є робочий зазор в роторній дробарці. Як і будь-який інший абразивний матеріал, мінеральні домішки будуть створювати додаткове навантаження на робочі поверхні подрібнювача, викликаючи порушення технологічних зазорів і їх підвищений знос [21, 22].

До найбільш ефективних способів щодо підвищення зносостійкості робочих поверхонь роторної дробарки можна віднести: зміна геометрії (товщина, форма і т.п.); підбір оптимальної кількості робочих елементів, їх швидкості і частоти взаємодії з вихідним продуктом; підбір оптимального матеріалу для виготовлення робочих органів, виходячи з виду перероблюваного продукту; зміцнення частини або всієї робочої поверхні; забезпечення точного і своєчасного прогнозування ресурсу деталей; використання технологічного обладнання для ремонту і ТО.

На основі аналізу матеріалів і досліджень [5] необхідно провести ряд заходів, спрямованих на підвищення довговічності конструкції роторної дробарки, що розглядається.

Висновки і постановка завдань досліджень

За результатами проведеного аналізу можна сформулювати основні напрямки досліджень, які необхідно провести при досягненні поставленої в роботі мети щодо підвищення довговічності подрібнювачів роторного типу.

Роторна дробарка з підвищеною надійністю роботи підвищить тривалість ефективного, довговічного процесу подрібнення зерна, за рахунок розробки оптимальної з точки зору зносостійкості і якості конструктивної схеми поділу вихідних частинок на задану кількість частин відповідно до зоотехнічних вимог

для різних видів і вікових груп сільськогосподарських тварин і птиці. При цьому необхідно знижувати питомі енерговитрати на здійснення процесу при отриманні однорідного фракційного складу готового продукту за рахунок використання зносостійких робочих органів, що дозволяють тривалий час зберігати встановлений режим роботи.

Мета дослідження є підвищення довговічності подрібнювача зернових матеріалів роторного типу.

Для виконання поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1. На основі аналізу досліджень виявити основні напрямки по підвищенню довговічності роторних дробарок зернових матеріалів.

2. Встановити аналітичні залежності продуктивності і енергомісткості процесу, ресурсу роторної дробарки і оцінки ефективності її роботи, які враховують знос робочих органів і якість подрібнення.

3. Експериментально уточнити фізико-механічні властивості зернових матеріалів і досліджувати вплив зносостійкості противорізу на показники роботи роторної дробарки.

4. Провести оцінку ефективності роботи пропонованої роторної дробарки з урахуванням довговічності її робочих органів і якості процесу подрібнення, і визначити економічний ефект при впровадженні дробарки.

2 МЕТОДИКА Й ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Мета і програма експериментальних досліджень

В результаті виконаних аналізу досліджень встановлено, що, незважаючи на переваги роторної дробарки, якість її роботи залежить від величини робочого зазору між ротором і статором дробарки, який визначається інтенсивністю зношування та ресурсом робочих поверхонь рифлів ротора і противорізу [14, 21, 22].

Метою експериментального дослідження є організація надійного і якісного процесу подрібнення в роторній дробарці при раціональному розташуванні противорізу на статорі і додаткове підвищення його зносостійкості з найкращими показниками продуктивності.

Для цього необхідно провести ряд експериментів пов'язаних з випробуванням зернових матеріалів, визначенням ресурсу противорізу, виготовленого з різних конструкційних матеріалів і визначенням оптимальних режимів напрацювання до граничного зносу робочих поверхонь в ході багатofакторного експериментального дослідження.

Експериментальні дослідження проводилися за програмою, яка включала:

- дослідження макро- і мікротравмування зернівок, наявності мінеральних домішок в зерні при уточненні фізико-механічних властивостей подрібнюваних зернових матеріалів;
- експериментальні дослідження інтенсивності зношування та довговічності деталей роторної дробарки;
- аналіз експериментальних даних і їх порівняння з теоретичними даними;
- техніко-економічна оцінка (порівняння запропонованих варіантів в різних виробничих умовах);

2.2 Методика експериментальних досліджень щодо підвищення довговічності роторної дробарки

Експерименти з подрібнення всіх видів зернових матеріалів проводились за допомогою горизонтальної роторної дробарки, виготовленої в майстерні підприємства.

Дана дробарка використовувалася в дослідженні Р.Р. Іскендерова. Габарити і вихідні конструктивні параметри не змінювалися і відповідають описаним в [5] і розділі 1.2.2 даної роботи. Роторна дробарка дозволяла виконувати:

- зміну кута місця розташування противорізу його переміщенням уздовж твірної ротора і фіксації в трьох положеннях на статорі;
- зміну зазору між рифлями ротора і робочим краєм (рифлів) противорізу прокладками між статором і противорізом;
- заміна противорізу (зношеного на новий, або більш міцного на менш міцний противоріз);
- заміна поверхні ротора на аналогічну в разі зносу або пошкодження вихідної;
- спостереження через виконану з оргскла прозору стінку корпусу за процесами дроблення і переміщенням вихідного і подрібненого зернового матеріалу в робочій камері роторної дробарки;
- регулювання окружної швидкості ротора при дослідженні процесу дроблення зернофуражу (змінюючи частоти обертання ротора асинхронним електродвигуном);
- вимірювання потужності на приводному валу.

З'ясування раціональних параметрів і режимів роботи для досягнення найбільшої довговічності робочих органів здійснювалося шляхом варіювання положення противорізу на статорі і шляхом виконання противорізу з різних конструкційних матеріалів.

Для проведення експериментів по визначенню напрацювання до

граничного зносу противорізу було виготовлено 3 вихідних елемента довжиною 0,06 м. Кожний з трьох елементів (рис. 2.2 в) складався з 4 противорізів по 0,015 м, встановлених на основу у вигляді стрижня, які виготовлялися з різних видів сталі з застосуванням зміцнення або гартування. Противорізи, як показано на рис. 2.1, були промарковані на тильній (номер експериментальної групи від 1 до 3) і бічній стороні (номер виду технології виготовлення від 1 до 4).

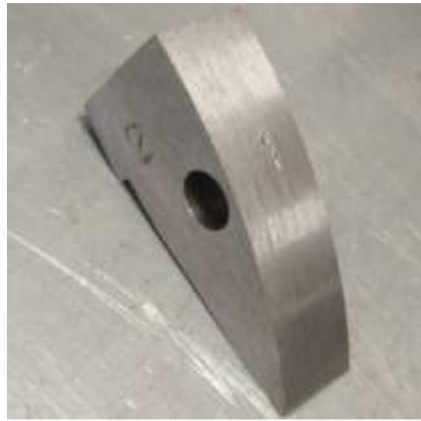


Рисунок 2.1 - Маркування противорізу

Технології виготовлення противорізу діляться на: варіант №1 - Ст3 (HRC 10...12), варіант №2 - Ст45 (HRC 15...17), варіант №3 - Ст45 загартована (HRC 45...50), варіант №4 - Ст45 загартована і має покриття ФПЗ (фінішне плазмове зміцнення), і показані на рис. 2.2.



а) б) в) г)

а - Ст3; б - Ст45; в - Ст45 з загартуванням; г - Ст45 з загартуванням і ФПЗ

Рисунок 3.13 - Виготовлені за різною технологією противорізи

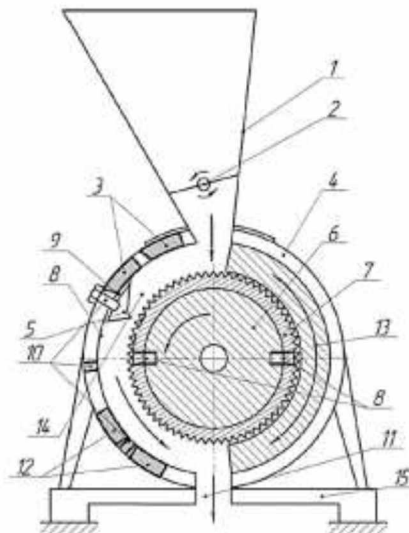
Змінні поверхні ротора дослідного зразка дробарки виконувалися з Ст45 загартована з твердістю HRC 45...50, їх діаметр був $D=0,1$ м, а довжина $l=0,06$ м.

Геометричні параметри рифлів ротора, на підставі досліджень виконаних в [5], були прийняті наступними:

- для подрібнення пшениці кількість пазів і рифлів на роторі прийнято 38 штук, з кроком $t = 8$ і висоті рифлів $h = 1,2$;
- для подрібнення ячменю кількість пазів і рифлів на роторі прийнято 32 штук, з кроком $t = 10$ і висоті рифлів $h = 1,5$;
- для подрібнення вівса кількість пазів і рифлів на роторі прийнято 34, з кроком $t = 13$ і висоті рифлів $h = 1,4$;
- для подрібнення кукурудзи кількість пазів і рифлів на роторі прийнято 20 штук, з кроком $t = 15,5$ і висоті рифлів $h = 2,4$;
- для подрібнення кормової суміші з декількох зернових культур (універсальний ротор) кількість пазів і рифлів на роторі прийнято 28 штук, з кроком $t = 11,5$ і висоті рифлів $h = 1,6$.

Для всіх варіантів знімних поверхонь ротора кут вістря прийнятий $\beta = 60^\circ$, а кут нахилу стінки паза $\beta_1 = 15^\circ$ [5].

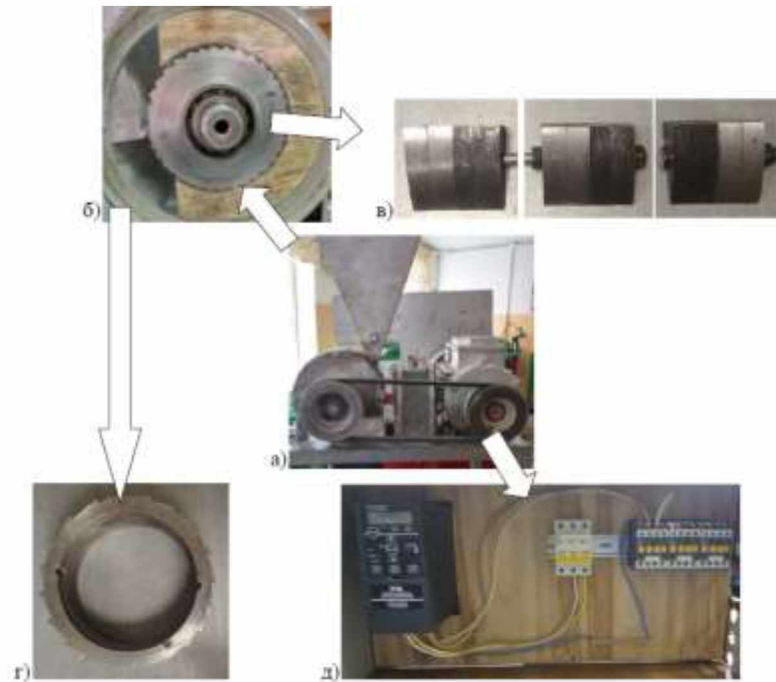
Схема експериментальної роторної дробарки подана на рис. 2.3.



1 - приймальний бункер, 2 - заслінка, 3 - заглушки в доп. місцях завантажувального вікна, 4 - статор, 5 - зуб, 6 - ротор, 7 - знімна поверхня ротора, 8 - кріплення поверхні ротора, 9 - прокладка для варіювання зазору, 10 - кріплення і заглушки в доп. місцях розташування противорізу, 11 - розвантажувальний бункер, 12 - заглушки в доп. місцях розвантаження, 13 - обмежувальна губа, 14 - дробильна камера, 15 - рама

Рисунок 2.3 - Схема дослідного зразка роторної дробарки:

Схема ключових елементів експериментальної установки подана на рис. 2.4.



а - експериментальна роторна дробарка, б - дробильна камера,
в - експериментальні зразки противорізів, г - схеми приєднання

Рисунок 2.4 - Загальний вигляд установки

Експериментальна дробарка змонтована на загальній рамі установки. Її привід здійснювався електродвигуном, максимальна сила якого дорівнює 1,5 кВт, через ремінну передачу. Потужність електродвигуна відповідає теоретично необхідній для подрібнення $P = 460$ Вт, з урахуванням ККД і результатів експериментів по визначенню критичного напруження зернівок на зріз [5].

2.3 Розробка матриці і методики проведення багатofакторного експерименту

За підсумками аналізу, проведених раніше досліджень [5, 9, 10, 15, 16, 19, 21, 22, 23] виділено 3 фактори, що впливають на зносостійкість робочих поверхонь ротора і статора в роторній дробарці: лінійна швидкість ротора v_p ,

концентрація мінеральних домішок у вигляді абразивного матеріалу $C_{абр}$, відібраного при просіюванні вихідного зернового матеріалу. Третім фактором прийнятий кут розміщення противорізу γ відносно горизонтальної осі ротора.

Залежність і ступінь впливу обраних факторів на параметр оптимізації (швидкість зношування противорізу, виготовленого з найбільш розповсюджених і доступних конструкційних матеріалів) має велику кількість реалізацій. Тому в експерименті проведення багатофакторного експерименту реалізовано по трирівневому плану другого порядку Бокса-Бенкіна для трьох обраних факторів для кожного з чотирьох варіантів конструкційного виконання противорізу окремо [24, 25]. У першій ліпшій нагоді і при особистому поєднанні обраних факторів прийнято припущення про умовно незношуваний ротор, який був виготовлений із Сталі 45 і загартований.

Ухвалений план відноситься до групи майже Д-оптимальних планів. Група таких планів характеризується рівномірним розподілом дисперсії відтворення результатів експерименту в усіх точках гіперповерхні відгуку. Після обробки експериментальних даних отримані рівняння регресії другого порядку, мають однакову статистичну характеристику по всім напрямкам.

При обґрунтуванні, як самих чинників, так і інтервалів їх варіювання, і керуючись рекомендаціями [24, 25], всі фактори керовані, спільні і незалежні. Рівні варіювання кожного фактору обґрунтовані виконаними дослідженнями, а також на основі власних теоретичних і експериментальних досліджень, і аналізу реального досвіду експлуатації кормоприготувального обладнання.

Область зміни швидкісного режиму в зоні дроблення визначена оптимальним діапазоном за результатами досліджень модернізованої роторної дробарки [5]. Концентрація абразиву за змістом мінеральних домішок встановлена в ході виконаних експериментів (дані наведені нижче). Діапазон значень кута розташування противорізу впливає з теоретичного аналізу в межах $0...70^\circ$. Фактори процесу позначали символом X .

В експеримент включали три нижчезазначених фактори, для кожного з них встановлювали три рівні: верхній, нижній і основний.

На підставі аналізу досліджень процесу роботи ріжучих апаратів іншими авторами, прийняті наступні фактори: X_1 - концентрація абразиву, %; X_2 - лінійна швидкість, м/с; X_3 - кут установки противорізу, градус (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 - Фактори і рівні їх варіювання в експерименті

Показник	Кодоване позначення	Найменування факторів і їх величина		
		Концентрація абразиву $C_{абр}$, %	Лінійна швидкість v_p , м/с	Кут установки противорізу γ , °
Верхній рівень	+1	5,4	5,5	70
Основний рівень	0	2,9	5	35
Нижчий рівень	-1	0,4	4,5	0
Інтервал варіювання	X	2,5	0,5	35

Кодування факторів здійснювалося за формулою:

$$X_i = \frac{X_i - X_0}{\Delta X} \quad (2.1)$$

де X_i – значення фактору;

X_0 – центр області планування;

ΔX – інтервал варіювання.

У рядках матриці планування експерименту записуються дані дослідів, в стовпчиках - фактори (табл. 2.2) кодами «+» і «-» з реалізацією їх всіх можливих поєднань.

Для підвищення зносостійкості противорізу роторної дробарки раніше пропонувалося використовувати 4 різних варіанти конструкційних матеріалів при виготовленні, для кожного з них розроблена аналогічна матриця.

Для обробки експериментальних даних по кожному рядку плану і при можливих варіаціях рівнів обраних факторів розраховувалися за відомими формулами і загальноприйнятими методиками розрахунку [24].

При перевірці однорідності дисперсії по кожному варіанту для критерію оптимізації (інтенсивності зношування противорізу) визначали критерій

Кохрена за такою формулою:

$$G = \frac{S_{e\max}^2}{\sum_{e=1}^N S_e^2}, \quad (2.2)$$

де G – критерій Кохрена;

$S_{e\max}^2$ – максимальна дисперсія в s -ій точці;

$\sum_{e=1}^N S_e^2$ – сума всіх дисперсій.

Таблиця 2.2 - Вихідна матриця при плануванні експерименту

Трирівневий план 2-го порядку Бокса-Бенкіна			
№ дослідю	X_1	X_2	X_3
1	1	1	0
2	-1	1	0
3	1	-1	0
4	-1	-1	0
5	0	0	0
6	1	0	1
7	-1	0	1
8	1	0	-1
9	-1	0	-1
10	0	0	0
11	0	1	1
12	0	-1	1
13	0	1	-1
14	0	-1	-1
15	0	0	0

Попередньо обчислені значення критерію Кохрена використовували для перевірки гіпотези про відтворюваності виконаних вимірювань.

Для виявлення найбільш впливових чинників, а також їх поєднань за значимістю отриманих коефіцієнтів регресії, визначені в кожному регресійному рівнянні t - критерії Стюдента. При цьому кожен коефіцієнт регресії порівнюється з обчисленим значенням t_i - критерію за формулою:

$$t_i = \frac{|b_i|}{s\{b_i\}} \quad (2.3)$$

Після їх визначення остаточно перевіряється гіпотеза про значущість коефіцієнтів регресії і формується математична модель другого порядку. Адекватність такої моделі при заданому рівні значущості і установленому числі

ступенів свободи перевіряли за такою формулою:

$$F = \frac{S_{ад}^2}{S^2\{Y\}^3}, \quad (2.4)$$

де F – критерій Фішера.

Остаточне рішення приймається після порівняння отриманого знання критерію Фішера з табличним.

Всі розрахунки проводилися за допомогою математичної програми, розробленої в Microsoft Excel. Після обробки експериментальних даних були отримані рівняння регресії в кодованому вигляді для кожного з порівнюваних варіантів виготовлення противорізу. Обробку експериментальних даних проводили відповідно до стандартних методик [24].

3 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Результати проведення багатофакторного експерименту по визначенню зносостійкості

Обробка експериментальних даних з використанням розробленої програми в Microsoft Excel, в якій закладено алгоритм трирівневого плану Бокса-Бенкіна 2-го порядку [25], дозволила отримати функції відгуку параметра оптимізації (швидкості зношування противорізу Y) для порівнюваних варіантів:

$$Y_1 = 32,73 + 29,3x_1 + 6,3x_2 + 0,875x_3 + 1,975x_1x_2 + 18,521x_1^2 - 2,929x_3^2 \quad (3.1)$$

$$Y_2 = 29,687 + 28,725x_1 + 5,775x_2 + 0,65x_3 + 2,05x_1x_2 + 18,9x_1^2 - 2,543x_3^2 \quad (3.2)$$

$$Y_3 = 14,867 + 14,138x_1 + 2,85x_2 + 0,85x_1x_2 + 9,679x_1^2 - 1,421x_3^2 \quad (3.3)$$

$$Y_4 = 7,233 + 6,95x_1 + 1,4x_2 + 0,45x_1x_2 + 4,783x_1^2 \quad (3.4)$$

Дані рівняння проходили статистичну перевірку оцінка відтворюваності за критеріями Кохрена, оцінку значущості коефіцієнтів регресійних рівнянь за критерієм Стьюдента та оцінку адекватності отриманих моделей за критерієм Фішера [25].

Матриця планування експерименту представлена в табл. А.1 додатку А.

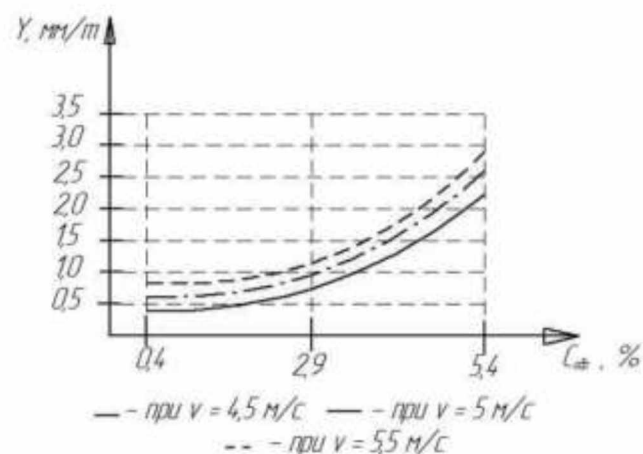


Рисунок 3.1 - Залежність швидкості зношування противорізу від концентрації абразивних частинок і лінійної швидкості при куті розташування противорізу $\gamma = 0^\circ$ (для варіанту 1)

Аналіз рис. 3.1 показує, що при куті розташування противорізу $\gamma = 0^\circ$ при зміні концентрації абразивних частинок з 0,4...5,4% подрібнення зернового

матеріалу з лінійною швидкістю 4,5 м/с швидкість зношування противорізу складала 0,4...2,2 мм/т, при лінійній швидкості 5 м/с і 5,5 м/с швидкість зношування відповідно становило 0,6...2,6 мм/т, 0,8...2,8 мм/т.

Аналіз рис. Б.1 додатку Б показує, що при куті розташування противорізу $\gamma = 35^\circ$ при зміні лінійної швидкості від 4,5...5,5 м/с, подрібнення зернового матеріалу з концентрацією абразивних частинок 0,4% швидкість зношування противорізу складала 0,52...0,91 мм/т, при концентрації 2,9% і 5,4% швидкість зношування становила 0,9...1,4 мм/т, 2,3...2,9 мм/т.

Аналіз рис. Б.2 додатку Б показує, що при лінійній швидкості $v = 5$ м/с при зміні кута розташування противорізу від $0...70^\circ$, при подрібненні зернового матеріалу з концентрацією абразивних частинок 0,4% швидкість зношування противорізу складала 0,6...0,7 мм/т, при концентрації 2,9% і 5,4% швидкість зношування становила 0,9...1,1 мм/т, 2,6...2,7 мм/т. Таким чином оптимальним кутом розташування противорізу буде кут в $35...45^\circ$.

Аналізуючи отримані, дані можна говорити про те, що максимальна швидкість зношування спостерігалася у зразків варіанту №1, і варіювалася в межах 0,52...2,99 мм/т. Швидкість зношування зразків варіантів №2, №3 і №4 варіювалася відповідно в межах 0,49...2,82 мм/т, 0,27...1,41 мм/т і 0,13...0,7 мм/т. Таким чином, застосування запропонованих рішень дозволило підвищити зносостійкість робочих поверхонь рифлів в 4...4,3 рази (рис. 3.2).

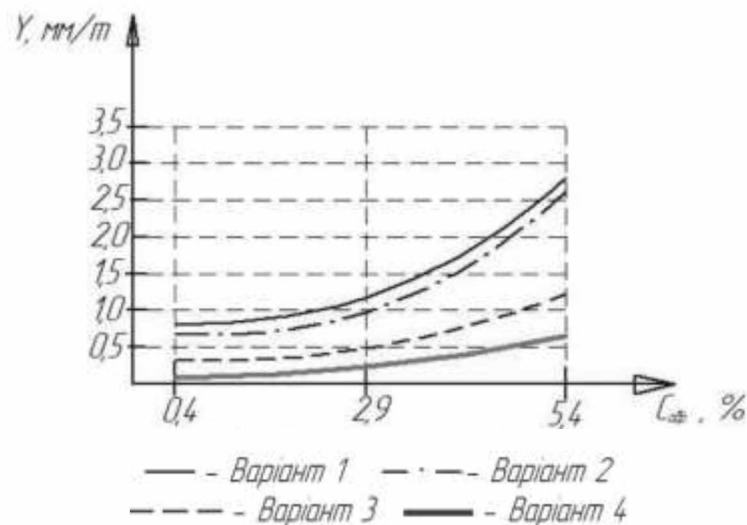


Рисунок 3.2 - Залежність швидкості зношування противорізу від концентрації абразивних частинок для порівнюваних варіантів

Отримані дані швидкості зношування свідчать про доцільність застосування не тільки більш зносостійкого матеріалу, а й додаткових заходів зміцнення робочих поверхонь рифлів.

3.2 Оцінка надійності процесу подрібнення роторної дробарки з урахуванням зносу противорізу

З урахуванням даних про залежність величини зазору між робочими поверхнями ротора і противорізу роторної дробарки виконували статистичну обробку результатів за якістю подрібнення, отриманих розсіюванням досліджуваних зразків при проведенні експериментів (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 - Результати експерименту по визначенню величини зносу противорізу роторної дробарки

Інтервал	0,855- 0,946	0,946- 1,037	1,037- 1,128	1,128- 1,219	1,219- 1,31	1,31- 1,401	1,401- 1,492
Середина інтервалу	0,901	0,992	1,083	1,174	1,265	1,356	1,447
Частота	2	2	4	9	11	12	10
Довірча ймовірність	0,04	0,04	0,08	0,18	0,22	0,24	0,2
ΣP_i	0,04	0,08	0,16	0,34	0,56	0,8	1
$f(u)$	0,006	0,034	0,097	0,1824	0,228	0,1824	0,097
$F(u)$	0,01	0,05	0,16	0,37	0,63	0,83	0,95
$P_u=1-F(u)$	0,99	0,95	0,84	0,63	0,37	0,17	0,05

За отриманими експериментальними даними побудований полігон і гістограма розподілу зносу противорізу роторної дробарки в залежності від частоти відмов. Використовуючи відомі методики встановлені теоретичні закони розподілу диференціальної і інтегральної функцій, а також залежність надійності процесу подрібнення від зазору (отриманого через зношування) між робочими поверхнями ротора і противорізу роторної дробарки (рис 3.5 та В.1 додатку В).

Обробка даних дозволила встановити, що надійність процесу подрібнення підпорядковується нормальному закону розподілу. Інтегральна функція $F(I_{ki})$,

що характеризує ймовірність відмови системи, представлена наступним виразом:

$$F(I_{ki}) = F_0(7,14 I_{ki} - 9,04) \quad (3.5)$$

За виразом (3.5) отримана залежність надійності процесу подрібнення від зносу висоти зуба (рифлі) противорізу, що представляє вірогідність безвідмовної роботи роторної дробарки (рис. 3.3).

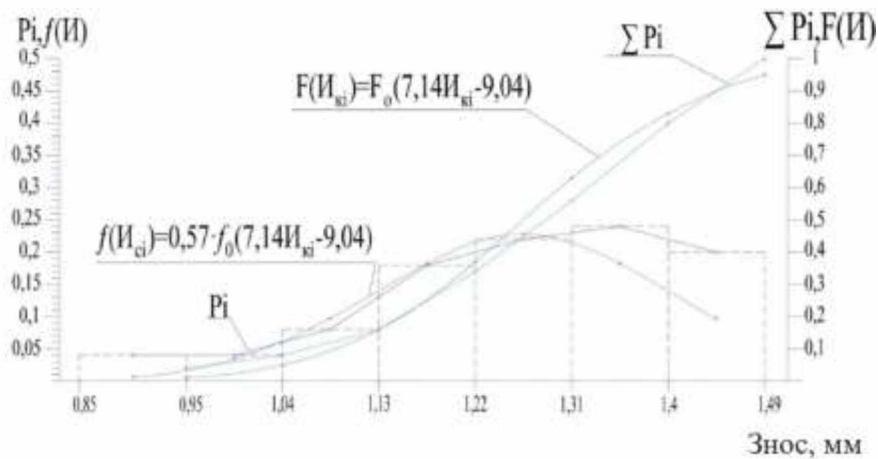


Рисунок 3.3 - Експериментальні та теоретичні залежності зміни якості подрібнення від зносу зуба противорізу

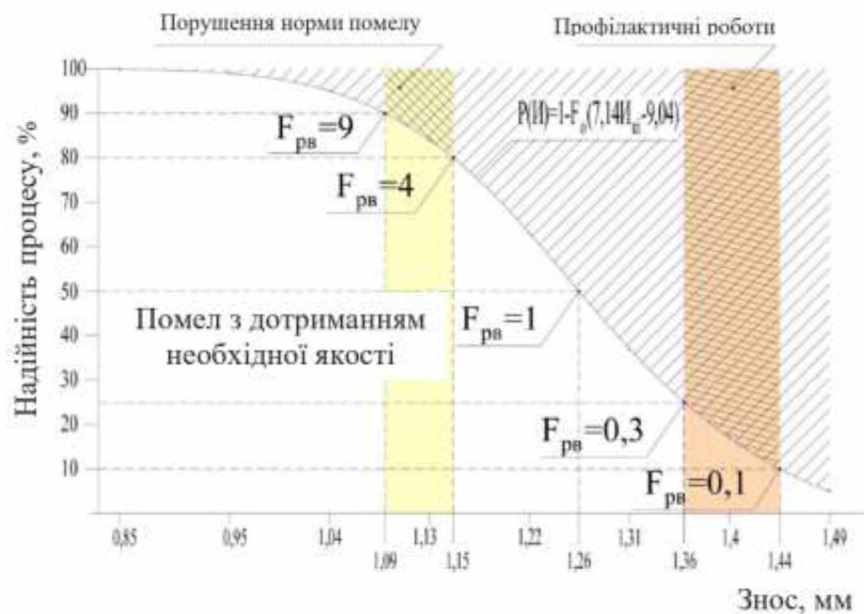


Рисунок 3.4 - Залежність надійності процесу подрібнення зернових матеріалів від зносу рифлі противорізу

Аналіз результатів (рис. 3.4) експерименту показав, що знос ріжучої

кромки противорізу при напрацюванні до його граничного значення (ресурсу), в середньому склав $I_1 = 1,3 \dots 1,5$ мм. Ці дані відповідають значенням зносу, які визначені в реальних експлуатаційних умовах. При оцінці ефективності процесу помелу за пропонованою методикою, показник надійності становить $P(I) = 10 \dots 25\%$, а показник фактичної результативності вкрай - $F_{рв} = 0,1-0,3$.

Отримані залежності використовуються для визначення величини зносу ріжучої кромки (рифлі) противорізу, яка відповідає заданій якості подрібнення, за рівнем надійності цього процесу. Так, для надійності $P(t) = 80 \dots 90\%$ максимально допустимий зазор не повинен перевищувати діапазону $1,09 \dots 1,15$ мм в даних експлуатаційних умовах.

Отримані дані також дозволяють побудувати залежності забезпечення гарантованого процесу подрібнення від величини допуску на знос рифлі противорізу, що формує зазор між робочими поверхнями ротора і рифлі противорізу дробарки. Після збільшення значення зазору більше $0,9$ мм/т відбуваються періодично відмови, що проявляються у втраті працездатності роторної дробарки, які полягають у відхиленні норми помелу сільськогосподарських культур і пропуску зернівок. При зміні надійності процесу подрібнення на 10% , що відповідає зміні зазору на $0,19$ мм, з 10 обмолочених тон сільськогосподарської продукції 1 тонна не відповідає заданим вимогам помелу. Тому задаючись надійністю процесу помелу в 90% і для виключення порушення в роботі роторної дробарки, рекомендується проводити заміну або регулювання противорізу при зазорі в $1,09$ мм.

3.3 Прогнозування довговічності роторної дробарки для різних варіантів конструктивних виконань

При проведенні експериментальних досліджень властивостей противорізу після досягнення граничного зносу $1,5$ мм кожен противоріз піддавався відновленню форми шляхом фрезерування, або іншим шляхом для усунення зазначеного зносу і відновлення форми противорізу, що становило не менше

трьох періодів роботи в кожному випадку.

В результаті проведення багатофакторного експерименту визначено залежності інтенсивності зношування різних варіантів противорізу в змодельованих умовах взаємодії з пшеницею при наявній концентрації мінеральних домішок рівних 0,4%, які описуються рівняннями, що дозволяють визначити знос форми зуба противорізу в залежності від намелу.

У дослідах по визначенню залежності величини зазору між робочими поверхнями ротора і противорізу роторної дробарки від намелу δ брали участь 4 варіанти. Перший варіант виготовлений зі сталі Ст3, другий зі сталі 45, третій варіант виготовлений зі сталі 45, який піддається загартуванню, четвертий зі сталі 45 і зміцнений за допомогою ФПЗ.

Кожен комплект складався з 4 противорізів, довжиною кожного 0,015 м, з'єднаних на одній осі. При цьому роботу всіх комплектів контролювали через кожні 10 кг на всій ширині. Гострота леза всіх комплектів контролювалася за змінною концентрації абразиву.

Для кожного з варіантів при максимальній висоті зуба противорізу в 10 мм при досягненні граничного зносу і заокругленні кінчика зуба противорізу рівного 1,5 мм передбачається двох кратне відновлення зношеної поверхні до стану вихідної геометричної форми зуба.

Для першого варіанту швидкості зношування до досягнення профілактичних заходів складала:

$$\delta_1^1 = 0,389 \cdot B_1^1 \quad (3.6)$$

Після зрізу і вирівнювання зношеної поверхні, швидкість зношення можна визначали з рівняння:

$$\delta_2^1 = 0,4427 \cdot (B_2^1 - B_1^1) \quad (3.7)$$

де B_2^1 – об'єм подрібненої фракції після фрезерування і вирівнювання зуба протиріза виготовленого із сталі Ст3, т.

Після повторного фрезерування і вирівнювання зуба противорізу швидкість зношування складала:

$$\delta_3^1 = 0,5208 \cdot (B_3^1 - B_2^1) \quad (3.8)$$

де B_3^1 – об'єм подрібненої фракції після повторного фрезерування для зуба противорізу виготовленого із сталі Ст3, т.

З урахуванням всього цього загальний обсяг швидкості зношування зуба до досягнення граничного зносу при проведенні двох профілактичних заходів для першого варіанту складе (рис. 3.5):

$$\Delta\delta^1 = \delta_1^1 + \delta_2^1 + \delta_3^1, \quad (3.9)$$

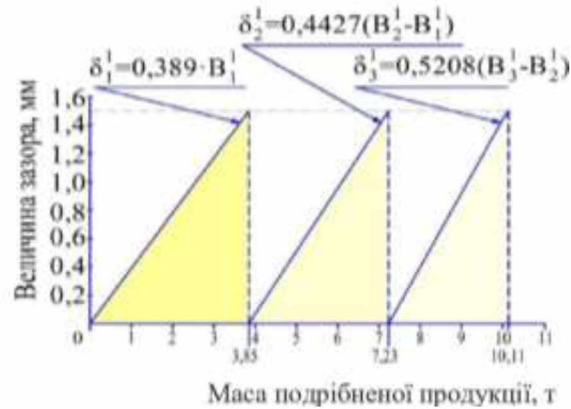


Рисунок 3.5 - Залежність кількості подрібненої фракції пшениці від величини зносу противорізу виготовленого зі сталі Ст3

Темп наростання зазору при концентрації абразиву 0,4% на всіх ділянках коливається від 0,38 до 0,52 мм/т що при ширині $l = 0,015$ мм визначається інтенсивністю зносу зуба противорізу виготовленого зі сталі Ст3.

Як показують досліди при проведенні першої та другої профілактики по відновленню вихідної геометрії зуба на робочій поверхні зуба з'являються дефекти в будові матеріалу, які виникають при роботі дробарки, що підтверджується деяким зниженням твердості по глибині зуба.

Інтенсивність зносу матеріалу збільшується пропорційно розкиду значень твердості до 12...15%.

Для другого варіанту швидкість зношування складала:

$$\delta_1^2 = 0,3529 \cdot B_1^2 \quad (3.10)$$

де B_1^2 – об'єм подрібненої фракції роторної дробарки при виготовленні зуба противорізу виготовленого із сталі 45, т.

Після зрізу і вирівнювання зношеної поверхні, швидкість зношування

можна визначити з рівняння:

$$\delta_2^2 = 0,3795 \cdot (B_2^2 - B_1^2) \quad (3.11)$$

де B_2^2 – об'єм подрібненої фракції після фрезерування і вирівнювання зуба противорізу виготовленого із сталі 45, т.

Після повторного фрезерування і вирівнювання зуба противорізу швидкість зношування складе (рис. В.1 додаток В):

$$\delta_3^2 = 0,4312 \cdot (B_3^2 - B_2^2) \quad (3.12)$$

де B_3^2 – об'єм подрібненої фракції після повторного фрезерування для зуба противорізу виготовленого із сталі 45, т.

Для третього варіанту швидкість зношування складе:

$$\delta_1^3 = 0,1961 \cdot B_1^3 \quad (4.13)$$

де B_1^3 – об'єм подрібненої фракції роторної дробарки при загартуванні зуба противорізу виготовленого із сталі 45, т.

Після зрізу і вирівнювання зношеної поверхні, швидкість зношування можна визначити з рівняння:

$$\delta_2^3 = 0,2334 \cdot (B_2^3 - B_1^3) \quad (3.14)$$

де B_2^3 – об'єм подрібненої фракції після фрезерування і вирівнювання загартованого зуба противорізу виготовленого із сталі 45, т.

Після повторного фрезерування і вирівнювання загартованого зуба противорізу швидкість зношування складе (рис. В.2 додаток В):

$$\delta_3^3 = 0,2847 \cdot (B_3^3 - B_2^3) \quad (3.15)$$

де B_3^3 – об'єм подрібненої фракції після повторного фрезерування для загартованого зуба противорізу виготовленого із сталі 45, т.

Для четвертого варіанту швидкість зношування складе:

$$\delta_1^4 = 0,071 \cdot (B_1^4 - B_0^4) \quad (3.16)$$

де B_1^4 – об'єм подрібненої фракції роторної дробарки при зміцненні зуба противорізу із сталі 45 за допомогою ФПЗ, т.

Після зрізу і вирівнювання зношеної поверхні, швидкість зношування можна визначити з рівняння:

$$\delta_2^4 = 0,1268 \cdot (B_2^4 - B_1^4) \quad (3.17)$$

де B_2^4 – об'єм подрібненої фракції після фрезерування і вирівнювання зміцненого зуба противорізу із сталі 45, т.

Після повторного фрезерування і вирівнювання зміцненого зуба противорізу швидкість зношування складе (рис. В.3 додаток В):

$$\delta_3^4 = 0,1509 \cdot (B_3^4 - B_2^4) \quad (3.18)$$

де B_3^4 – об'єм подрібненої фракції після повторного фрезерування для зміцненого зуба противорізу, виготовленого із сталі 45, т.

Задавшись гранично допустимим зносом зуба противорізу роторної дробарки рівним 1,5 мм, при перевищенні якого більше 15% всього намелу не відповідає ступеню помелу, і підставивши його в залежності 3.1 - 3.4 для кожного з зубів, отримали значення їх ресурсів (рис. 3.6).

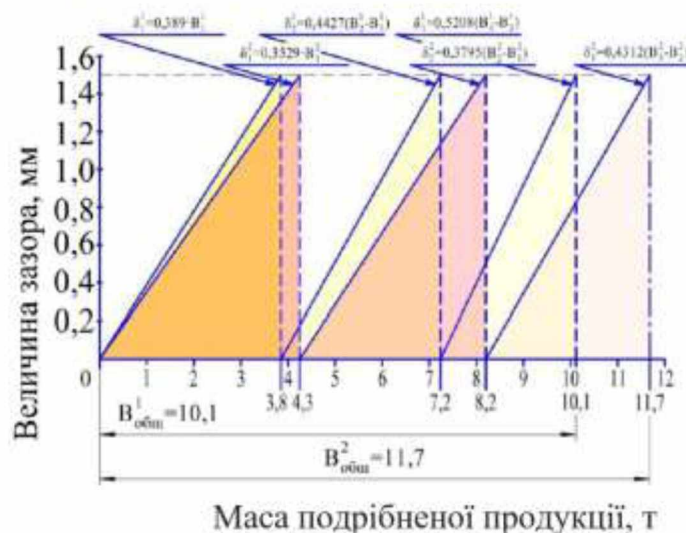


Рисунок 3.6 - Залежність обсягу подрібненої фракції пшениці від величини сумарного зносу противорізу виготовленого зі сталі Ст3 і 45

Експеримент показав, що намолот роторної дробарки при виготовленні зуба противорізу зі сталі Ст3 в середньому склав 3,85 т, для сталі 45 4,25 т, для сталі 45 попередньо загартованого - 7,65 т і для зуба виготовленого зі сталі 45 підданого ФПЗ - 13,6 т. Це відповідає даним, отриманим в експлуатаційних умовах.

При застосуванні комплексу профілактичних заходів з відновлення первісної форми зуба противорізу виготовленого зі сталі Ст3 граничне значення

маси подрібненої продукції в середньому склало $B_{\text{Общ}}^1 = 10,1$ т, і $B_{\text{Общ}}^2 = 11,7$ т для сталі 45.

Як, було зазначено раніше для забезпечення 80...90% надійності процесу подрібнення продукції, необхідно не перевищувати величину зносу в 1,1 і 1,15 мм і проводити профілактичні роботи, що включають в себе комплекс заходів, що дозволяють відновити до номінального значення зуб противорізу. Сумарне напрацювання роторної дробарки при забезпеченні надійності процесу подрібнення в районі 80...90% з урахуванням всіх стадій профілактичних заходів по відновленню первісної форми зуба противорізу становитиме $B_{80-90\%}^1 = 7,42...7,76$ т для дробарки виготовленої з Ст3 і $B_{80-90\%}^2 = 8,55...8,95$ т для дробарки виготовленої зі сталі 45, відповідно (рис. В.4 додаток В).

При застосуванні комплексу профілактичних заходів щодо відновлення початкової форми зуба противорізу виготовленого із загартованої сталі 45 граничне значення маси подрібненої продукції в середньому склало $B_{\text{Общ}}^3 = 19,3$ т, і для сталі 45 підданій ФПЗ складе $B_{\text{Общ}}^4 = 42,8$ т. (рис. В.5 додаток В).

Як, було зазначено раніше для забезпечення 80...90% надійності процесу подрібнення продукції, необхідно не перевищувати величину зносу в 1,1 і 1,15 мм і проводити профілактичні роботи, що включають в себе комплекс заходів, що дозволяють відновити до номінального значення зуб противорізу. Сумарне напрацювання роторної дробарки при забезпеченні надійності процесу подрібнення в районі 80...90% з урахуванням всіх стадій профілактичних заходів по відновленню первісної форми зуба противорізу становитиме $B_{80-90\%}^3 = 14,2...14,8$ т для дробарки виготовленої із загартованої сталі 45 і $B_{80-90\%}^4 = 35...36,1$ т для дробарки виготовленої зі сталі 45 і підданої ФПЗ відповідно (рис. В.6 додаток В).

Таким чином, величина сумарного відбракованого зносу для всіх роторних дробарок становить 1,1...1,15 мм, при якій забезпечується надійність процесу подрібнення 80...90%, максимально виключає перемел і недомел зерна, а фактична результативність процесу складе $F_{\text{рв}} = 4...9$, замість 0,1...0,3 в існуючій

практиці.

Рекомендується робити профілактичні операції щодо підвищення довговічності зуба противорізу при плановому ремонті роторних дробарок до настання максимального зносу зуба.

3.4 Визначення продуктивності експериментальної роторної дробарки

Аналіз режимів роботи і схем дробарок показує, що значення коефіцієнта заповнення в кожній з них, по-різному. В теорії вальцьових станків він становить $k_3 = 0,1-0,2$ (при $v = 4-8$ м/с), а по [5], експериментально встановлений в роторній дробарці, $k_3 = 0,038-0,098$ (при $v = 2,1-5,2$ м/с) [5, 12].

В результаті перенесення противорізу в зону нижче горизонтальної осі ротора по куту $\gamma = 35...45^\circ$ вдалося знизити вплив коефіцієнта заповнення на продуктивність Q_ϕ , щодо теоретичної Q_T (при $k_3=0,2$) до показника $k_3 = 0,11-0,16$ (при $v = 4,5-5,5$ м/с). На рис 3.7 представлені графіки продуктивності і інтенсивності зношування при $l = 0,06$ м, $\delta = 0,1$ мм, $\gamma = 350$, і $C_{абр} = 0,4\%$ з різною швидкістю обертання ротора.

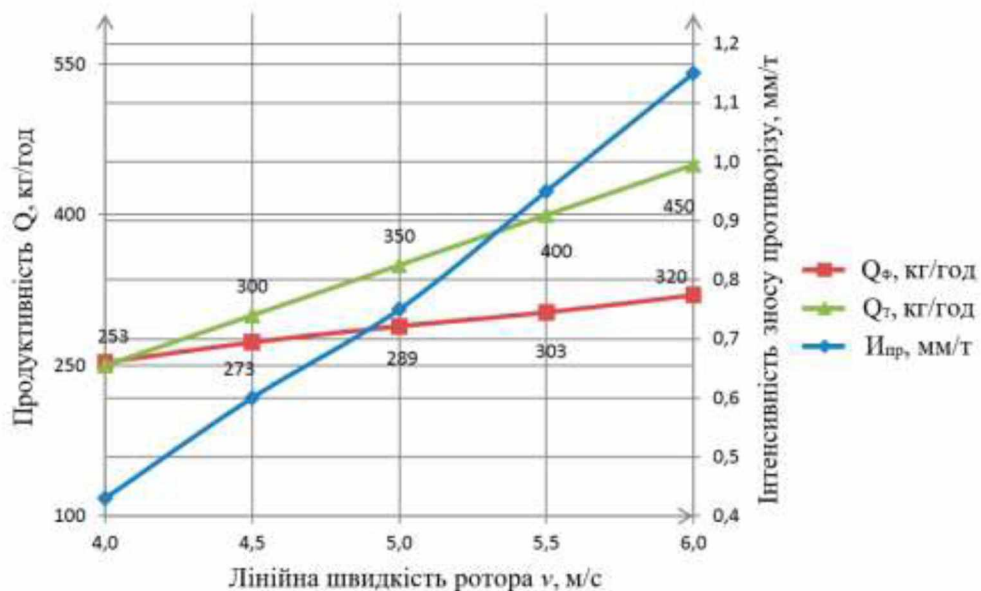


Рисунок 3.7 - Порівняння теоретичної Q_T , фактичної Q_ϕ продуктивності та інтенсивності зношування $I_{пр}$ при різній лінійній швидкості ротора v

Відношення питомої енергоємності та фактичної результативності до інтенсивності зношування показано на графіках рис 3.8.

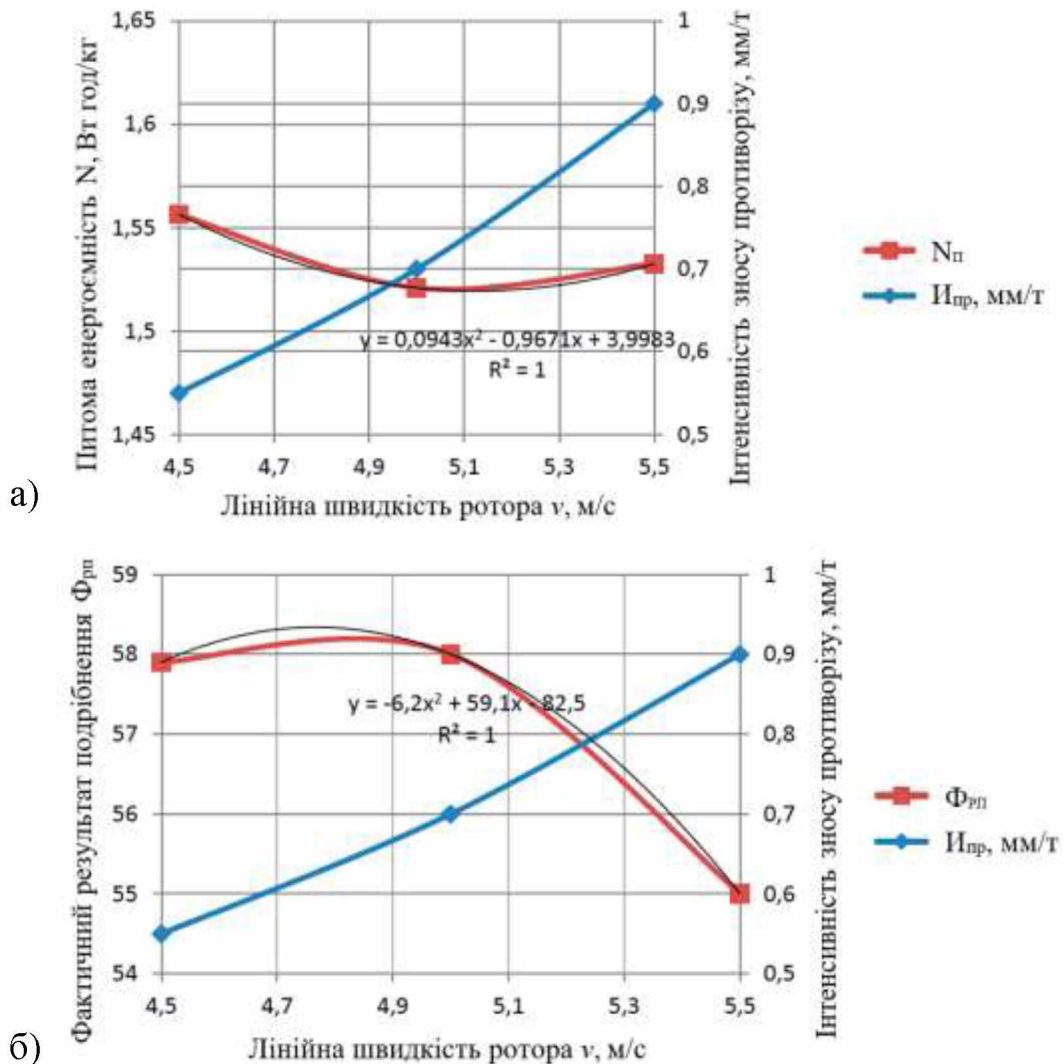


Рисунок 3.8 - Залежність питомих енерговитрат $N_{\text{п}}$ (а) і фактичної результативності $\Phi_{\text{рп}}$ (б) від окружної швидкості ротора v і інтенсивності зношування противорізу $I_{\text{пр}}$ при подрібненні пшениці ($l = 0,06$ м, $\delta = 0,1$ мм, $\gamma = 35^\circ$, $C_{\text{абр}} = 0,4\%$)

Питома енергоємність процесу в зазначеному діапазоні коливається від 1,58...1,66 Вт год/кг, а показник фактичної результативності склав 55...58, що відповідає вирівняності гранулометричного складу понад 95%.

Висновки за результатами досліджень

1. При проведенні дослідження критичних напружень на зріз для

зернових культур, при коефіцієнті варіації $V=18...26\%$, були зафіксовані значення для пшениці 81 Н і 47 Н, для ячменю 130 Н і 64 Н, для вівса 54 Н і 35 Н, для кукурудзи 200 Н і 182 Н, уздовж і поперек відповідно.

2. При проведенні досліджень травмованості зернового матеріалу було встановлено, що кількість зернин мають пошкодження і варіюється в межах 4...27%.

3. Дослідження якості подрібненого матеріалу молотковими дробарками, показало, що 47% готового продукту задовольняє зоотехнічним вимогам, при цьому кількість цільних зернівок становить 15...24%, а перемел варіювався в межах 41...29%.

4. Проведеними дослідженнями встановлено, що зміст мінеральних домішок в зерновому матеріалі варіюється в межах 0,34...1,6%.

5. Отримані в ході проведення експерименту математичні залежності дозволили встановити, що:

- оптимальний кут розташування противорізу становить $35...45^\circ$;
- діапазон інтенсивності зношування противорізу, виконаного з різних конструкційних матеріалів, складає 0,13...0,7 мм/т.

6. Прогнозування напрацювання, з використанням залежностей отриманих в ході проведення експерименту показало, що для противорізу виконаного зі сталі Ст3 напрацювання складе 3,85...10,11 т, а для противорізу зі сталі 45, підданого загартовуванню і ФПЗ в 5,5...4,2 рази більше, що становить 21,1...42,8.т.

4 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ РОЗРОБОК

4.1 Екологічна експертиза

Екологічна експертиза являє собою врегульовану нормами діяльність експертів по аналізу, перевірці і оцінці документації об'єктів і рішень, на їх відповідність правилам і вимогам охорони навколишнього середовища і раціонального природокористування в цілях попередження можливих негативних наслідків для навколишнього середовища.

Цілі екологічної експертизи [26]:

- забезпечення наукового визначення відповідності проектних рішень сучасним екологічним вимогам перед їх затвердженням в компетентних державних органах;
- попередження можливого негативного втручання на екосистему функціонуючих і проектних об'єктів в процесі її реалізації.

Екологічна експертиза буває державною, громадською, а також інших видів. Вона є обов'язковою умовою законодавчої роботи господарства і іншої діяльності, яка впливає на стан навколишнього середовища. В останні роки відбуваються негативні зміни навколишнього середовища, тому у 1991 році 25 червня був прийнятий Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища», а 9 лютого 1995 року був прийнятий Закон України «Про екологічну експертизу». Зазначені закони визначає правові, екологічні і соціальні основи організації охорони навколишнього середовища, вимоги до проведення екологічної експертизи [26].

Громадська екологічна експертиза може здійснюватися в будь-якій сфері діяльності, що потребує екологічного обґрунтування, за ініціативою громадських організацій чи інших громадських формувань. Громадська екологічна експертиза може здійснюватися одночасно з державною екологічною експертизою шляхом створення на добровільних засадах тимчасових або постійних еколого-експертних колективів громадських організацій чи інших

громадських формувань.

Еколого-експертний процес складається з трьох основних етапів [26]:

- підготовчого, або перевірки необхідних даних, представлених проектних матеріалів і їх відповідності до законодавства;

- основного, або аналітичної обробки даних по об'єктах експертизи;

- заключного, або підведення результату і оцінці даних і складання акта.

Екологія в сільськогосподарському виробництві займає чинне місце, оскільки здійснюється суттєвий вплив на оточуюче середовище, особливо в наш час і з розвитком нових технологічних процесів, що впроваджуються у виробництво, застосуванням модернізованої техніки в Україні.

Спрямована екологічна експертиза на підготовку висновків про відповідність запланованої чи здійснюваної діяльності нормам та вимогам законодавства про охорону навколишнього природного середовища, раціонального використання і відтворення природних ресурсів, забезпечення екологічної безпеки.

Завдання екологічної експертизи полягають у регулюванні суспільних відносин в галузі екологічної експертизи для забезпечення екологічної безпеки, охорони навколишнього середовища, раціонального використання та відтворення природних ресурсів, захисту екологічних прав та інтересів громадян держави.

Мета екологічної експертизи – запобігання негативному впливу антропогенної діяльності на природне середовище та здоров'я людей, а також оцінка ступеня екологічної безпеки господарської діяльності та екологічної ситуації на окремих територіях та об'єктах.

Вимоги до проведення екологічної експертизи такі:

1. Дотримання пріоритету права суспільства на сприятливе екологічне середовище.

2. Гармонійне поєднання екологічних та економічних інтересів.

3. Екологічна сутність об'єктів з вимогами охорони довкілля.

4. Комплексна еколого-економічна оцінка існуючого чи передбачуваного

впливу на навколишнє середовище.

5. Альтернативні варіанти зменшення негативних впливів об'єктів експертизи на оточуюче середовище.

6. Суворе дотримання законодавства та державних норм природокористування.

Порядок проведення екологічної експертизи включає:

1. Перевірку наявності та повноти матеріалів та реквізитів на об'єкти екологічної експертизи.

2. Аналітичне опрацювання матеріалів екологічної експертизи.

3. Узагальнення окремих експертних досліджень та наслідків діяльності об'єктів експертизи.

4. Підготовку висновків.

Технологія сільськогосподарського виробництва має базуватися на екологічно-обґрунтованих раціональних нормах [26].

Відповідно до теми роботи об'єктом забруднення навколишнього середовища є установка для помелу зерна. Тому, в роботі проводиться комплекс заходів по захисту довкілля від негативного впливу установки.

Робота установки впливає на стан оточуючого середовища, тому ми пропонуємо деякі заходи по попередженню забруднення навколишнього середовища.

В підприємстві джерелом виходу пилу в атмосферу є обладнання, що встановлене в складі для переробки зерна.

За санітарними нормами СН 2.45-71, а також ГОСТ 12.1. 005-76 для робочих зон виробничих приміщень встановлені гранично-допустимі концентрації пилу - 4 мг/м^3 .

В зв'язку з цим для забезпечення чистоти повітря, крім діючої вентиляції у приміщенні, пропонуємо встановити пристрій для очищення повітря від пилу. Для видалення пилу пропонуємо до загальної системи вентиляції додати циліндричний циклон ЦН-15, який очищує повітря.

Пропонуємо застосовувати місцеву вентиляцію з очищенням повітря у

сопловому вихровому пиловловлювачі. Він добре очищає повітря від дрібнодисперсних частинок, розміром менше 3 мкм.

Допустима концентрація пилу при викиді повітря в атмосферу після очистки в циліндричних установках визначається розрахунком розсіювання повітря. Одне з основних завдань, що вирішуються за допомогою вентиляційних та циліндричних установок - забезпечення чистоти повітря при запиленості, що не перевищує межі ГДК. Чистоту повітря в робочих приміщеннях (при запиленості) можна забезпечити циліндричними установками за допомогою ефективної вентиляції всього устаткування, в якому утворюється пил. Чистоту повітря, що викидається в атмосферу, можна забезпечити в тому числі застосуванням високоефективних пиловловлювачів (бажано фільтрів).

Запропоновані заходи забезпечать мінімальний вплив на екологічну систему при переробці зерна на корми.

4.2 Охорона праці

4.2.1 Актуальність проблеми безпеки людини у виробничому середовищі

Охорона праці в нашій країні охоплює заходи по подальшому покращенню умов праці на основі механізації важких і шкідливих виробничих процесів, широкому впровадженню сучасних засобів охорони праці, усуненню причин, що породжують травматизм і професійні захворювання робітників. Вона тісно пов'язана з умовами праці.

Умови праці - це складне об'єктивне суспільне явище, що формується в процесі трудової діяльності під впливом взаємопов'язаних факторів соціально-економічного характеру, які впливають на здоров'я, працездатність людини, на її відношення до праці та ступінь задоволення від неї, на ефективність праці та інші економічні результати виробництва [27].

Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях в умовах сільського

виробництва - важливе завдання, вирішення якого забезпечить нормальні умови праці працівниками сільського господарства. Це заходи по подальшому поліпшенню і оздоровленню умов праці, широкому впровадженню сучасних засобів безпеки, усуненню причин, що породжують травматизм, створенню на виробництві необхідних гігієнічних і санітарно-побутових умов.

4.2.2 Вимоги безпеки при роботі на установці

1. До роботи оператором установки допускаються особи не молодші 18 років, що пройшли медичний огляд, навчання і мають не нижче другої групи допуску по електробезпеці та пройшли інструктаж по охороні праці на робочому місці.

2. Оператор повинен знати, де знаходяться засоби пожежогасіння і вміти користуватися ними.

3. Перед допуском до самостійної роботи працівник на протязі 2-5 днів проходить стажування під керівництвом досвідченого оператора. Допуск до самостійної роботи оформляється завідуючим током чи бригадиром в журналі інструктажу по техніці безпеки.

4. Слід дотримуватись внутрішнього трудового розпорядку. Не допускається: присутність в робочій зоні сторонніх, куріння, робота в нетверезому стані.

Оператор повинен виконувати тільки ту роботу, по якій пройшов інструктаж і на виконання якої отримав наряд. Не можна передоручати виконання своєї роботи іншим.

5. Основні небезпечні фактори: можливість потонути в зерні, поява вуглекислого газу в бункерах, приямках норій, особливо при заповненні їх вологим зерном; можливість бути засипаним зерном в завальній ямі.

6. Електролампочки повинні бути обладнані скляними ковпаками.

7. Запуск і включення установки, усунення несправностей проводить оператор. Усунення несправностей електрообладнання проводить тільки

електрик.

8. Для обслуговування верхньої частини обладнання слід користуватися надійною драбиною, кінці якої повинні оббиті матеріалом, що не дає можливості проковзування.

4.2.3 Аналіз формування травмонебезпечних ситуацій

Аналіз небезпечних умов, які існують чи виникають безпосередньо на виробництві показав, що їх можна поділити на групи, які [27]:

- характеризують стан або рівень безпеки 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.

Всяке порушення аналітичної цілості організму або його функцій внаслідок дії на людину, дії будь-якого небезпечного фактору визначається як травма.

Якщо внаслідок аварії технічної системи виникли травми у людей, то сам випадок травми необхідно розглянути як подію, що є наслідком аварії. Це стосується тих систем, у яких підсистемами одночасно є машина і людина. Якщо при функціонуванні таких систем з ладу вийшла машина, раптово припинивши свої функції внаслідок руйнування окремих деталей або самої машини, і це привело до значного матеріального збитку, то таке випадкове явище необхідно назвати аварією.

Оскільки при функціонуванні людино-машинних систем такі явища як травми, аварії мають дуже близькі механізми формування та виникнення, у

подальшому ці явища будуть описуватись паралельно.

Висновки та пропозиції.

За умов складання на підприємстві планів попередження, а у разі виникнення локалізації і ліквідації пожеж, а також проведення тренувань серед персоналу можна уникнути виникнення надзвичайної ситуації або її важких наслідків.

Для того щоб на підприємстві трапилося менше випадків які закінчуються травмами необхідно дотримуватись наступних заходів:

1. Забезпечити видання стандартних розмірів ЗІЗ.
2. Забезпечити біля кожного робочого місця наявність інструкції по вимогам безпеки та знаки з попереджувальними написами.
3. Обладнати приміщення для проведення інструктажів та навчання працівників з питань охорони праці.
4. Організувати постійний контроль за станом охорони праці.

Виконання запропонованих заходів сприятиме зниженню ризику небезпек, що призведе до зниження рівня виробничого травматизму.

4.3 Розрахунок техніко-економічної ефективності впровадження результатів дослідження

З урахуванням [28] для проведення техніко-економічної оцінки керувались ГОСТР 53056-2008 для економічної оцінки сільськогосподарської техніки, провели порівняння розробленої в даному дослідженні конструктивно-технологічної схеми роторної дробарки (проект) з її базовою конструкцією. Також нами додатково враховувався показник якості подрібнення [5].

Порівняльні випробування проходили в виробничих умовах (середній річний помел зернових матеріалів по кормоцех близько 334 т). Вихідні

розрахункові дані занесені в зведену таблицю 4.1.

При порівнянні дробарок за витратами на додаткове подрібнення, пов'язане з доведенням перемолоту і недомолоту до фракції необхідної крупності, недомолоту не враховувався, так як в готовому продукті відсутні цілі зернівки.

Таблиця 4.1 - Зведені дані порівнюваних роторних дробарок

Показники	Варіант		Зниження витрат у порівнянні з базовим, %
	Базовий	Проект	
Вміст фракції до 0,25 мм (перемолот), %	3,9	3,9	0%
Витрати на отримання готової кормової маси відповідної зоотехнічним вимогам з урахуванням додаткової переробки до 5% перемолота (пресування, гранулювання), грн./т	1219	1150	6%
Питомі енергетичні витрати, кВт год/т	2,96	2,75	7%
Продуктивність, т/год	0,24	0,3	25%
Вартість виготовлення дробарки, грн.	7100	6500...15000	8...-131%
Потужність приводу, кВт	0,8	0,8	0%

Вартість проектного зразка дробарки залежить від вартості технологій при виготовленні противорізу, де 6500 грн. для варіанта №1 (Ст3), а 15000 грн. для варіанту №4 (сталь 45 ФПЗ).

Сукупні грошові витрати $I_{с.в.}$ (грн/т) визначали за формулою:

$$I_{с.в.} = I + I_{к.п} \quad (4.1)$$

де I – експлуатаційні витрати, грн/т:

$I_{к.п}$ – витрати коштів, які враховують додаткове подрібнення до відповідної якості, грн/т.

Грошові витрати на отримання тони готової продукції, що враховують доведення її до необхідної якості:

$$I_{к.п} = \frac{C_3 \cdot K_{кол}}{B_{пш}} \quad (4.2)$$

де C_3 – вартість зерна, грн/т;

$K_{\text{кол}}$ – коефіцієнт втрат, кінцевого продукту;

$B_{\text{ш}}$ – коефіцієнт вирівнювання гранулометричного складу подрібненого продукту, який визначається виходячи із наявності перемолу і недомелу.

Прямі експлуатаційні витрати на подрібнення зернових матеріалів в роторній дробарці I визначали як [28]:

$$I = Z + \Gamma + P + A + \Pi \quad (4.3)$$

де Z – оплата праці персоналу, грн;

Γ – мастильні матеріали і електроенергія, грн;

P – ремонт і ТО, грн;

A – амортизаційні відрахування, грн;

Π – вартість зернових матеріалів, грн.

Складові прямих експлуатаційних витрат розраховувалися в відповідно до ГОСТР 53056-2008.

Порівняльна економічна ефективність визначалася річною економією загальних витрат коштів від експлуатації базової і проектової роторної дробарки при подрібненні зернових матеріалів:

$$E_p = T_{\text{под}} (I_{\text{сзб}} - I_{\text{сзн}}) \quad (4.4)$$

де $T_{\text{под}}$ – об'єм робіт по подрібненню за рік, т;

$I_{\text{сзб}}$, $I_{\text{сзн}}$ – сукупні витрати грошових коштів по базовій і новій дробарці, грн/т.

А термін окупності додаткових капітальних вкладень $T_{\text{ок}}$, років [28]:

$$T_{\text{ок}} = \frac{B_{\text{н}} - B_{\text{б}}}{E_p}, \quad (4.5)$$

де $B_{\text{н}}$, $B_{\text{б}}$ – ціна нового проектного варіанту і базової техніки, грн.

На порівнюванні дробарки встановлювався протиріччя з СтЗ за першим варіантом, запропонованим в даній роботі. Знімна поверхня ротора була виготовлена з сталі 45 і загартована. Заміна протиріччя проводилася відповідно з визначеними в 3 розділі показниками напрацювання до граничного ресурсу.

Підсумки економічного порівняння базового та пропонованого зразків

роторної дробарки представлені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 - Результати впровадження пропонованої роторної дробарки

Показники	Варіант		Підвищення ефективності, %
	Базовий	Проект	
Оплата праці З, грн./т	1 088,9	980,0	10%
Середня ціна фуражного зерна П, грн./т	6000	6000	-
Витрати на отримання готової кормової маси відповідної зоотехнічним вимогам з урахуванням додаткової переробки до 5% перемолота (пресування, гранулювання), грн./т	1219	1150	6%
Загальні витрати на подрібнення зерна, грн./т	10870	10666	7%
Економія сукупних витрат, грн./рік	-	68127	-
Термін окупності капітальних вкладень, рік	-	0,1	-

Підсумкова ефективність від впровадження пропонованої ресурсозберігаючої конструктивно-технологічної схеми подрібнення в роторній дробарки визначають з розрахунку потреби 334 т в рік в подрібненому зерні необхідної крупності. Модуль помелу в ході експерименту становив $M = 1 \dots 2$ мм, комбікорм готувався для ВРХ.

Розрахунками підтверджена ефективність застосування розробленої роторної дробарки при подрібненні зернових матеріалів: знижуються експлуатаційні витрати на 40%, питомі енерговитрати на 7% і збільшується продуктивність на 25%, загальна річна економія сукупних витрат грошових коштів дорівнює 68 127 грн при терміні окупності капітальних вкладень 0,1 року.

ВИСНОВКИ

1. Проведений аналіз теоретичних і експериментальних досліджень дозволив встановити, що найбільший вплив на підвищення довговічності роторної дробарки, як складної технічної системи, надають властивості робочих поверхонь рифлів статора і ротора, які, будучи нижчими елементами його ієрархічної схеми, дозволяють управляти надійністю процесу подрібнення зернового матеріалу. Для підвищення довговічності подрібнювачів зернових матеріалів роторного типу, його продуктивності і зниження енергоємності запропонована нова конструктивно-технологічна схема подрібнення, що враховує підбір конструкційних матеріалів робочих органів дробарок залежно від умов їх застосування і місце розташування противорізу відносно горизонтальної осі ротора.

2. Отримано аналітичні залежності продуктивності та енергоємності процесу подрібнення зерна в роторній дробарці, в яких враховується знос рифлів противорізу і статора. Експериментальна залежність продуктивності дробарки добре узгоджується з теоретичною залежністю Q_T . При куті розташування противорізу $\gamma = 35^\circ$ і окружній швидкості ротора $v = 4,5 \dots 5,5$ м/с коефіцієнт заповнення становив $k_z = 0,11 \dots 0,16$, що забезпечує збільшення її продуктивності на 15...25%.

Розроблено математичну модель прогнозування ресурсу робочих поверхонь роторних дробарок кормового зерна, що враховує інтенсивність їх зношування, а також модель оцінки ефективності подрібнення зернових матеріалів з урахуванням зносу деталей дробарки і якості процесу.

3. Уточнено фізико-механічні властивості зернових матеріалів, що впливають на довговічність деталей роторної дробарки. Мінімальний вміст мінеральних домішок в досліджуваних зразках, встановлений промиванням, склав 0,3...1,4%, що говорить про досить високу зношувальну здатність зернівок із закріпленими на них абразивними частинками.

Експериментально визначені швидкості зношування для противорізу зі сталі Ст3, 45, 45 із загартуванням, 45 із загартуванням та покриттям при подрібненні пшениці ротором зі сталі 45 із загартовуванням, в залежності від

концентрації абразивних частинок, лінійної швидкості в зоні контакту і кута розташування противорізу. При довжині противорізу $l = 0,015$ м інтенсивність зносу варіювалася в межах 0,52...2,99 мм/т, 0,49...2,82 мм/т, 0,27...1,41 мм/т і 0,13...0,7 мм/т, відповідно, а зносостійкість зразків, що мають покриття вище зносостійкості інших зразків в 2,5 раз. Отримані дані дозволили:

- спрогнозувати ресурс роторних дробарок для зазначених варіантів до повного зносу противорізу без урахування якості подрібнення і при надійності процесу 80...90%;

- визначити раціональне значення кута розташування противорізу на статорі дробарки в межах $35...45^\circ$, при якому за рахунок збільшення кількості частинок, що подрібнюються зростає і швидкість зношування в усіх розглянутих варіантах.

4. Оцінка ефективності подрібнення зернових матеріалів за запропонованою методикою, яка враховує довговічність робочих органів дробарки і якість подрібнення для розглянутих варіантів, при продуктивності дробарки 0,3 т/год, що відповідає довжині робочої частини $l = 0,06$ м і діаметру ротора 0,1 м, дозволила встановити, що:

- без урахування якості подрібнення для противорізу з покриттям напрацювання і критерій ефективності склали 171,2 т і 527 грн./т, відповідно, що в 4,2 рази вище в порівнянні з противорізу зі сталі Ст3 з напрацювання, і на 11% нижче за техніко економічним критерієм;

- при надійності процесу 50% і 80% напрацювання знижується, відповідно, на 18,1...12,2% і на 36,5...22,3% для всіх варіантів, а техніко-економічний критерій підвищується в середньому в 2,16 і 2,28 рази;

- отримані дані по ресурсу рекомендуються підприємствам для вибору відповідного варіанту роторної дробарки в залежності від заданого обсягу зернових матеріалів, що подрібнюються.

Результати техніко-економічного розрахунку показали, що впровадження такої роторної дробарки в лінію подрібнення зернових матеріалів із середнім об'ємом переробки 334 т/рік дозволяє знизити енергоємність на 7%, підвищити продуктивність на 25%, отримати річний економічний ефект 68127 грн., при терміні окупності 0,1 року.