

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерно-технологічний

Кафедра галузевого машинобудування

Пояснювальна записка

до *дипломної роботи* на здобуття

ступеня вищої освіти «магістр»

на тему: «Підвищення ефективності процесу подрібнення зернових матеріалів роторною дробаркою»

Виконав: здобувач вищої освіти за
освітньо-професійною програмою
Технології і засоби механізації
сільськогосподарського виробництва
спеціальності 208 Агроінженерія
ступеня вищої освіти «*магістр*» групи 1

Чепурко Денис Григорович

Керівник: Біловод О. І.

Рецензент: Горбенко О. В.

Полтава – 2021 року

ВСТУП

Актуальність теми. Стратегічним напрямком розвитку агропромислового комплексу країни є стабільне виробництво продукції тваринництва, в структурі собівартості якої на частку кормів припадає понад 60% загальних витрат. Однією з основних операцій підготовки кормів до згодовування є подрібнення зернових матеріалів. На його здійснення доводиться до 75% енергетичних і 45% трудових витрат [1]. Відсутність цілих і недоподрібнених частинок, низький вміст пилоподібних фракцій і вирівняний гранулометричний склад подрібненого зернового матеріалу не тільки забезпечують підвищення продуктивності тварин, а й є критерієм оцінки ефективності роботи подрібнюючих пристроїв.

В даний час в лініях приготування кормів широко використовуються молоткові і ударно-відцентрові дробарки і подрібнювачі, які забезпечують задану ступінь подрібнення і модуль помелу зернових матеріалів в залежності від виду та вікової категорії тварин і птахів. Але при їх роботі вміст пилоподібної фракції збільшується до 30% при тонкому помелі, а недоіподрібненої до 20% при грубому, що знижує якість готового продукту і підвищує питому енергоємність процесу подрібнення.

Таким чином, підвищення ефективності процесу подрібнення зернових матеріалів за рахунок удосконалення технічних засобів його реалізації і методів оцінки якості подрібнення готового продукту, становить практичний інтерес, а тема наукового дослідження є актуальною.

Мета дослідження. Підвищення ефективності процесу подрібнення зернових матеріалів в горизонтальній роторній дробарці.

Об'єкт дослідження. Процес подрібнення зернових матеріалів в горизонтальній роторній дробарці.

Предмет дослідження. Закономірності процесу подрібнення зернових матеріалів в горизонтальній роторній дробарці.

Теоретична та практична значущість. Теоретичні та експериментальні залежності продуктивності, потужності приводу, в розробці конструктивно-технологічної схеми горизонтальної роторної дробарки, аналітичних залежностей процесу подрібнення в ній зернових матеріалів.

РОЗДІЛ 1

СТАН ПИТАННЯ ТА ВИБІР НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1. Аналіз способів впливу на зерно при подрібненні

Абсолютні розміри, або крупність частинок подрібненого кормового матеріалу, обумовлені зоотехнічними вимогами, що використовуються при оцінці якості продуктів подрібнення. Для енергетичної оцінки потрібно мати уявлення про глибину процесу диспергування, тобто про ступінь подрібнення або модулі помелу, якими зазвичай і оцінюють якість проведеного поділу вихідного матеріалу на частинки необхідного розміру [2].

Крупність всієї маси сипучого матеріалу оцінюють за вмістом у ній класів (фракцій) певних розмірів, тобто по гранулометричному складу. Графічне зображення гранулометричного складу продуктів подрібнення називають характеристиками крупності, або помольними характеристиками, які наочно показують розподіл готового продукту за класами і дозволяють судити про ефективність роботи подрібнюючих машин.

В умовах тваринницьких ферм і на комбикормових заводах ступінь подрібнення і модуль помелу кормів визначають ситовим аналізом за допомогою решітних класифікаторів. Він проводиться просіюванням навіски матеріалу через набір сит, що розрізняються розміром комірки.

Ступінь подрібнення і модуль помелу характеризують всю подрібнену масу і виражаються середніми значеннями крупності отриманих в процесі фракцій. Обидва способи оцінки фактично не дають повного уявлення про ефективність проведеного подрібнення, тобто як готовий продукт. А з урахуванням того, що в кожному конкретному випадку межі заданого діапазону подрібнення різні, можна з упевненістю сказати, що в готовому

продукті будуть присутні як фракція заданого гранулометричного складу, так і некондиційний матеріал (перемолоти і недомолоти).

Як відомо, теорія подрібнення твердих тіл в її загальному вигляді вивчає основні закономірності в розподілі часток по їх розмірам (великі) з метою відшукування найбільш простих і в той же час надійних методів визначення середніх розмірів частинок, площі їх питомої поверхні і чисельних значень ступеня подрібнення [3, 4].

Більш інформативні методики оцінки ефективності процесу подрібнення дозволять проводити точний і своєчасний аналіз, який в подальшому допоможе удосконалювати процес, конструкцію машин і своєчасно проводити їх ремонт і технічне обслуговування. Таким чином, шуканий оціночний показник повинен відповідати на питання: чи дозволяє конкретний подрібнювач отримувати однорідний за розміром частинок матеріал заданого гранулометричного складу, спираючись при цьому на утримання в ньому, як фракції необхідної крупності, так і некондиційних перемолоту і недомолоту.

Вибір оптимального способу подрібнення вихідної сировини не тільки впливає на вирівняність гранулометричного складу, а й на якість готової продукції, а також на наявність в ній великої кількості дрібних фракцій. Виходячи з розглянутих теорій, подрібнення матеріалу – це поділ тіла на дві або більше частин, що відбувається при прикладенні статичного або повільно змінного в часі напруження. Ці напруження можуть бути нормальними $[\sigma]$ і дотичними $[\tau]$, при цьому до нормальних відносяться розтягування і стиснення, а до дотичних – зсув [5].

Таким чином, всі способи впливу на матеріал є похідними двох основних напружень і, по суті, відрізняються різницею їх виникнення та залежать від форми впливу робочих органів на матеріал, що подрібнюється. При цьому найбільш прийнятний (менш енерговитратний, менш трудомісткий, легко реалізовується) спосіб для різних типів матеріалів буде неоднаковий.

Руйнування матеріалів або вплив з боку робочих органів подрібнювачів здійснюється за поданими на рисунку 1.1 схемами і їх комбінацій [2, 6].

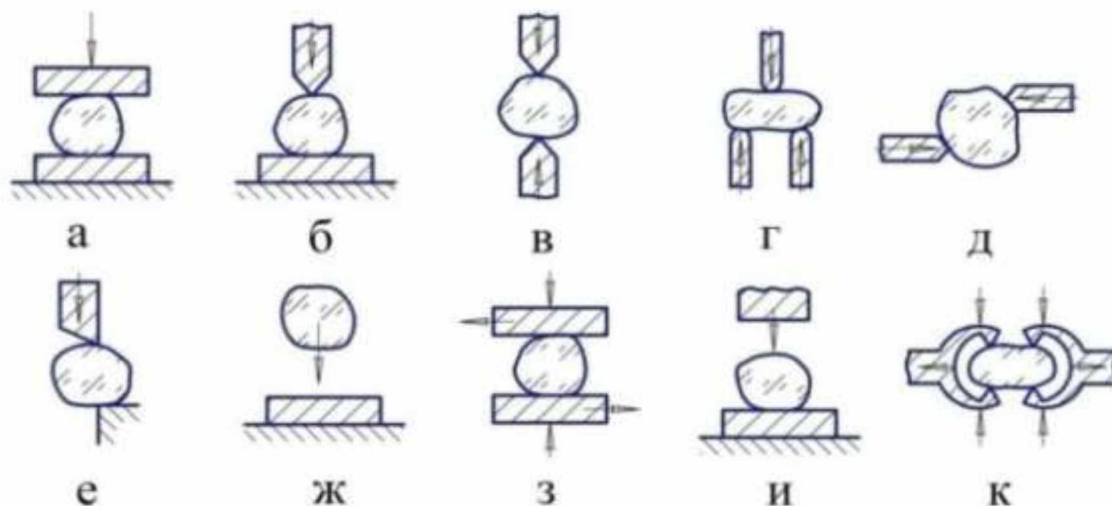


Рисунок 1.1 – Тип впливу: а – стиснення; б – розколювання; в – розламування; г – вигин; д – зсув; е – зріз; ж – вільний удар; з – стирання; и – стиснутий удар; к – розтягнення

Стиснення (рисунок 1.1 а) і його похідні: вільний і обмежений удар, розколювання, розламування є найпоширенішими способами поділу матеріалу на частини, в тому числі і в сільському господарстві. Тіло деформується під дією навантаження і коли внутрішня напруга в ньому перевищує межу міцності стиску – руйнується [7].

Удар, в результаті якого тіло розпадається на частини під дією динамічного навантаження, буває обмеженим і вільним. При обмеженому ударі (рисунок 1.1 и) тіло руйнується між двома робочими органами подрібнювача. Ефект такого руйнування залежить від кінетичної енергії тіла, що вдаряється. При вільному ударі (рисунок 1.1 ж) руйнування тіла настає в результаті зіткнення його з робочим органом подрібнювача або іншими тілами в польоті. Ефект такого руйнування визначається швидкістю їх зіткнення незалежно від того, рухається руйноване тіло або робочий орган.

Це надає подрібненню випадковий характер, а також відсутня можливість управління за розміром отриманого матеріалу [8].

Розколювання (рисунок 1.1 б) і розламування (рисунок 1.1 в) відбуваються в місцях концентрації найбільших навантажень, переданих клиноподібними робочими елементами, за рахунок чого отримують більш однорідний по гранулометричному складу матеріал, ніж при ударі [9].

Зсув (рисунок 1.1 д) і його похідні сколювання і зрізання супроводжуються дією дотичних напружень і коли настає їх критичне значення тіло руйнується за рахунок зміщення однієї його частини відносно іншої. Деформація зсуву, доведена до руйнування матеріалу, називається зрізом (по відношенню до металів) або сколюванням (по відношенню до неметалів). При зрізі або сколюванні (рисунок 1.1 е) тіло ділиться на частини заздалегідь заданих розмірів і форми шляхом послідовного зрізання (відколу) частин основного шматка матеріалу. Такі способи впливу на матеріал найчастіше менш енергоємні і дозволяють більш ефективно прогнозувати розмірні характеристики готового подрібненого продукту [10].

Розтягування (рисунок 1.1 к) засновано на ефекті необоротної деформації, тому процес руйнування заснований на граничній міцності розділяемого матеріалу при негативному нормальному напруженні. Це такий спосіб впливу, при якому сила, що створює напруження в матеріалі і викликає його подовження до того моменту, коли величина напружень перевищить міцність матеріалу, тобто відбувається його розрив [11].

Прикладом комбінації декількох напружень (нормальних і дотичних) є вигин (рисунок 1.1 г) і стирання (рисунок 1.1 з). При стиранні матеріал подрібнюється між двома поверхнями, а супроводжується таке руйнування зсувними, розтягуючими та іноді стискаючими деформаціями. При вигині, як правило, відбувається прикладення до тіла розтягуючих і стискаючих напружень [12].

Для отримання готового продукту в подрібнюючих зерновий матеріал машинах використовуються різні принципи руйнування: стиснення, зсув,

стирання, удар, сколювання, різання, а також всілякі їх комбінації. Застосування того чи іншого принципу чинить істотний вплив на енергоємність процесу і гранулометричний склад готового продукту. Прогнозувати розмір часток, одержуваних в процесі подрібнення матеріалу, можливо тільки при зрізі. При розколюванні і розламуванні форма частинок непостійна, але однорідна за розмірами, в інших випадках, наприклад, при ударному поділі матеріалу на частини виходять частинки різного розміру і форми [13].

Руйнуючі зусилля для твердої та м'якої пшениці вологістю від 13,1% до 14,3% складають на стиск 6,08 ... 12,75 МПа, на сколювання 4,32 ... 10,84 МПа, і на зріз 3,04 ... 9,22 МПа. При цьому, значення мають не тільки фізико-механічні властивості, а й орієнтація в момент руйнівного впливу, розташування борозенки та інші чинники, пов'язані з анізотропією і біологічної структурою зернівок, а також з динамікою процесу [2, 7, 10].

Під час подрібнення «твердих», «тендітних» зернових матеріалів, коли вологість не перевищує 14,5 ... 17%, зріз і розтяг є менш енергоємними серед перерахованих способів руйнування. Однак, принцип розтягування, як і чистий зсув (зріз) складно організувати в сучасних технічних умовах, а при широко поширеному подрібненні зерна ударом нальотом утворюється одна або кілька розгалужених тріщин, що й обумовлює велике розкидання продукту за розмірами і його переподрібнення. В даній ситуації найбільш оригінальним і ефективним є руйнування зернівок способом «сколювання-зріз», коли по ній наноситься удар двох лез, при цьому формується прямолінійна тріщина, що розвивається, як правило, без розгалуження. Це і призводить до того, що спосіб «сколювання-зріз» дає більш вирівняний за розмірами і фракційним складом подрібнений продукт (рисунок 1.2) [14].

Подрібнювачі, які реалізують руйнування матеріалу послідовним зрізанням і сколюванням його частинок, зводять до мінімуму утворення пилоподібних фракцій, що не задовольняють зоотехнічним вимогам,

дозволяють регулювати розмір часток готового продукту і знижують споживання електроенергії.

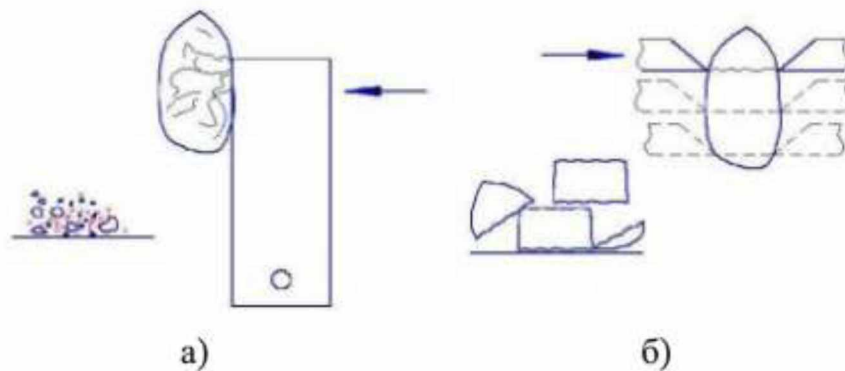


Рисунок 1.2 – Схеми подрібнення зернівок і одержуваний продукт подрібнення: а – подрібнення ударом нальотом; б – подрібнення способом «сколювання-зріз»

1.2. Аналіз існуючих видів подрібнювачів

Подрібнюючі машини застосовуються для поліпшення однорідності сумішей, прискорення і підвищення глибини протікання хімічних реакцій, підвищення інтенсивності технологічних процесів (перемішування, сушіння, випалювання, хімічні реакції), зниження застосовуваних температур і тисків (наприклад, при варінні скла), поліпшення фізико-механічних властивостей і структури матеріалів і виробів (тверді сплави, бетон, кераміка та ін.), підвищення фарбувальної здатності пігментів і барвників, активності адсорбентів і каталізаторів, переробки полімерних композицій, що включають високодисперсні наповнювачі (наприклад: сажу, слюду, хімічні волокна та ін.), переробки відходів виробництва, бракованих та зношених виробів [3, 6, 15].

Ефективність роботи подрібнювача оцінюється по продуктивності, якості подрібнення, питомої енергоємності та матеріаломісткості. Ці

показники значною мірою обумовлюються їх конструктивними параметрами. За розміром отриманого продукту подрібнення поділяють на два типи: дроблення і помел. Незважаючи на те, що межа між помелом і дробленням умовна, механічне обладнання для подрібнення ділиться на дробарки і млини (рис 1.3) [4, 5, 16].



Рисунок 1.2 – Види машин і характеристика процесу подрібнення

Щокосна дробарка є універсальною машиною для подрібнення матеріалів. Застосовується на гірських породах будь-якої міцності, на шлаках, деяких металевих матеріалах. Застосування неможлив на в'язкопружних матеріалах, таких як деревина, полімери, певні металеві сплави. Вхідна крупність сягає 1500 мм. Крупність готового продукту для невеликих дробарок становить до 10 мм, наприклад при подрібненні коренебульбоплодів. Щокосні дробарки є у всіх класах дроблення: великому, середньому і дрібному. Принцип роботи щокосної дробарки заснований на стисненні робочими поверхнями (щокосами) матеріалу, що призводить до виникнення великих напружень стиску та зсуву, що руйнують матеріал [3, 4].

Конусні, або гіраційні дробарки, призначені для середнього і дрібного подрібнення. Ці машини безперервного дії призначені для роботи під

завалом, що допускає пряму подачу, наприклад, гірської маси. Найчастіше, використовуються для дроблення рудних корисних копалин, зокрема залізистих кварцитів, рідше моноцитів. Процес подрібнення являє собою стирання і розколювання породи, що забезпечується круговим хитанням дробильного конуса (гіраційний рух) [17].

Вальцьові дробарки використовують для всіх видів подрібнення, але переважно для дрібного. Складаються вони з кількох горизонтальних зубчастих вальців (найчастіше пари), які обертаються (з однаковою або різною швидкістю) назустріч один одному. При цьому матеріал руйнується шляхом затягування силами тертя в робочу зону між двома паралельними циліндричними валками, де відбувається розчавлювання, стиснення і стирання його шматків [18].

Молоткові дробарки здатні подрібнювати великий спектр матеріалів (крім вологих і жирних) і застосовуються для руйнування шматків, зерен і частинок мінеральної сировини та інших продуктів, шляхом дроблення ударами молотків, бив або рифлів, які шарнірно або жорстко закріплені на швидко обертальному роторі, а також при ударах шматків матеріалу між собою, і об поверхню статора і відбійних плит. Такі машини оснащуються решетами, контролюючими крупність одержуваного продукту [19].

Роторні дробарки, також як і молоткові, працюють при будь-яких вимогах до крупності подрібнення. У таких машинах матеріал піддається одночасному впливу робочих елементів (била, лопатки, рифлі) на роторі і статорі, які жорстко закріплені на них. Призначені для дроблення матеріалів малої міцності шляхом масивного швидкого обертання ротора. Окремим типом роторних дробарок є відцентрово-ударні дробарки, що відрізняються вертикальним розташуванням ротора і використанням відцентрового розгону матеріалу і удару його шматків об самофутеровку. Така дробарка може бути виконана і з вертикальним ротором конічної форми [6, 7, 19].

Млини здійснюють помол і призначені для подрібнення, зменшення розмірів частинок сипких, а також пастоподібних матеріалів. Окремим

застосуванням млинів є деагломерація – зменшення розмірів грудок (агрегатів) матеріалів. Зменшення розмірів частинок проводять ударом, роздавлюванням, різанням, стиранням, або змішаним принципом, що включає кілька типів впливів на продукт, тому існує багато типів конструкцій млинів: з вільними і закріпленими тілами, що мелють, наприклад, жорнами, шнеками, кулями і ін. [20].

Для контролю параметрів процесу (вологість, крупність, подрібнюваність, інші властивості вихідних матеріалів), а також продуктивності процесу подрібнення всі машини оснащують системами авторегулювання, як на вході, так і на виході з дробильної камери. Найбільш поширеним видом контролю є решітний механізм, який слугує для регулювання крупності матеріалу, що надходить в подрібнювач і одержується на виході.

Для подрібнення рослинних матеріалів в сільському господарстві існують подрібнювачі різних типорозмірів і конструкцій, що обумовлено різноманіттям способів доведення вихідного продукту до необхідної крупності або консистенції [18].

Зоотехнічні вимоги обумовлюють операції з приготування концентрованих кормів: очищення від різних домішок (земля, каміння, метал, пісок та ін.); подрібнення до заданої крупності різними способами на дробарках, млинах або плющилках (для ВРХ не вище 3 мм, для свиней до 1 мм, для птиці до 2 - 3 мм при сухому методі годування); дозування і змішування компонентів; гранулювання зернових сумішей або трав'яного борошна [17, 18].

Млини рідко експлуатують для подрібнення зернових матеріалів в корм, так як, одержуваний в них, борошністий продукт не задовольняє зоотехнічним вимогам і використовується лише у вологому стані або для подальшого гранулювання.

Принцип плющення зерна застосовується рідко через обмеженість використання одержуваного корму. Плющене зерно є найбільш оптимальним

кормом для жуйних тварин (для коней, волів (на відгодівлі) і рідко для корів), так як для найбільш повного засвоєння їм необхідні великі частки корму. Однак досвід зарубіжних і вітчизняних тваринників дозволяє зробити висновок про те, що навіть в раціоні ВРХ плющене зерно повинно поєднуватися з концентратами. При цьому існує проблема змішування плющених частинок і інших компонентів комбікормів з рівномірністю вище 90% [19].

Тому на кормоприготувальних підприємствах і тваринницьких фермах для подрібнення концентрованих кормів в основному використовуються молоткові дробарки. Вони добре вивчені, до їх переваг можна також віднести простоту в експлуатації і обслуговуванні. Одночасно з цим вони мають істотний недолік – імовірнісний характер руйнування, усунути який без зміни конструктивної схеми практично неможливо. При роботі у вологому і жирному середовищі відбувається забивання отворів решета, що регулює розмір подрібнених частинок. Крім того, для руху кільцевого шару в робочій камері витрачається додаткова енергія, що призводить до збільшення енергоємності процесу дроблення, а готовий продукт в складі має до 30% пилоподібної фракції.

Останнім часом молоткові дробарки поступово замінюються іншими типами подрібнювачів. До одних з найбільш ефективних можна віднести конструкції дезінтеграційних, ударно-відцентрових, відцентрово-роторних, дискових типів. Вони мають велику продуктивність при менших енерго- і металоємності і хоча ефективність таких подрібнювачів доведена і підтверджена при подрібненні фуражного зерна, в тому числі із застосуванням зрізу і сколювання, вони мають один істотний недолік - нерівномірність гранулометричного складу готового продукту. При цьому ефективність цих конструкцій залежить від виконання робочих поверхонь, що впливають на продукт і чутливі до їх зносу. Вони мають вертикальний або горизонтальний приводний вал і в залежності від багатоступінчатості

конструкції здійснюють руйнування матеріалу одним або декількома відколами його частинок.

На рисунку 1.4 представлена принципова схема робочих органів відцентрово-роторного подрібнювача зернових матеріалів, що працює за принципом «сколювання-зріз» [19].

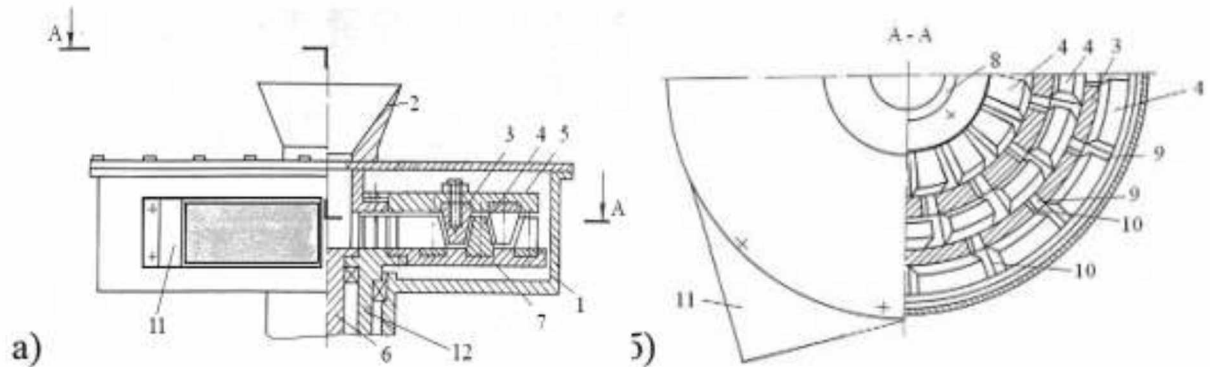


Рисунок 1.4 – Схема відцентрово-роторного подрібнювача (а) і його ріжучих поверхонь (б): 1 - корпус; 2 - патрубок завантажувальний; 3, 4 - ріжучі елементи; 5 - диск-ротор верхній; 6 - вал внутрішній; 7 - диск-ротор нижній; 8 - вікна радіальні; 9 - канали (пази); 10 - стінка каналу; 11 - патрубок вивантажний; 12 - вал.

До конструктивних параметрів ріжучої пари робочих органів відцентрово-роторного подрібнювача відносяться кути заточування (гострота) ріжучих елементів β , кут їх установки, гострота ребра ріжучого елемента, кут різання γ_p , зазор між ріжучим і протиріжучими елементами δ . Допустиму величину кутів визначають дослідним шляхом при різних умовах (тип ріжучого інструменту, його гострота, фізико-механічні властивості матеріалу, що подрібнюється і т. п.) [19].

Також для досягнення найкращої якості подрібнення сколюванням і зрізом використовують вальцові дробарки, які відрізняються рифленою поверхнею вальців, що нарізають в декількох конфігураціях. В результаті

забезпечують різання, сколювання, або розтирання, які в силу конструктивного виконання дробарки завжди супроводжуються стискаючим впливом. Така робоча схема забезпечує однорідний помел з низьким вмістом великих частинок і дрібних пилоподібних фракцій до 10%, що покращує сипучість і змішуваність продукту. Особливо це важливо при виробництві розсипних комбікормів, так як при їх обробці або відвантаженні відбувається самосортування частинок суміші. Також до переваг вальцевої дробарки можна віднести те, що при її роботі виробляється менше шуму через низьку колову швидкість обертання вальців при продуктивності більше, ніж в інших дробарках на 15 - 40%. Однак у вальцевих дробарках є і недоліки – високі вимоги до виготовлення робочих органів і балансуванню конструкції, висока ціна, тривалий час заміни вальців, залипання рифлів при дробленні вологих (від 18%) та маслянистих кормів, нагрів продукту розмелу, висока металоємність і необхідність постійної наявності запасних вальців на складі.

Для дроблення зернових кормів робочі частини вальцевих дробарок (рисунок 1.5 а) виконуються у вигляді двох паралельних циліндрів (вальців) з рифленою поверхнею. Обидва вальця приводяться в обертання в різні боки і з різною швидкістю ($V_1 \neq V_2$). Вальці розташовуються під кутом до горизонту в 20° і горизонтально. Чим менше кут нахилу вальців, тим сприятливіші умови подачі матеріалу в зону подрібнення, але ширина подрібнювача при цьому дещо збільшується (рисунок 1.5 б). У робочому процесі вальцевих дробарок мають значення наступні основні фактори: кут захоплення (заклинювання) α матеріалу розміром B , діаметр (радіус R) вальців, колові швидкості вальців і їх співвідношення, профіль і кут нахилу і число рифлів на одиницю довжини окружності вальця, величина робочої щілини δ між вальцями і властивості матеріалу, що подрібнюється. Всі разом вони обумовлюють підсумкові конструктивні характеристики дробарки, для визначення яких існують відповідні теоретичні залежності (рисунок 1.5 в). [20].

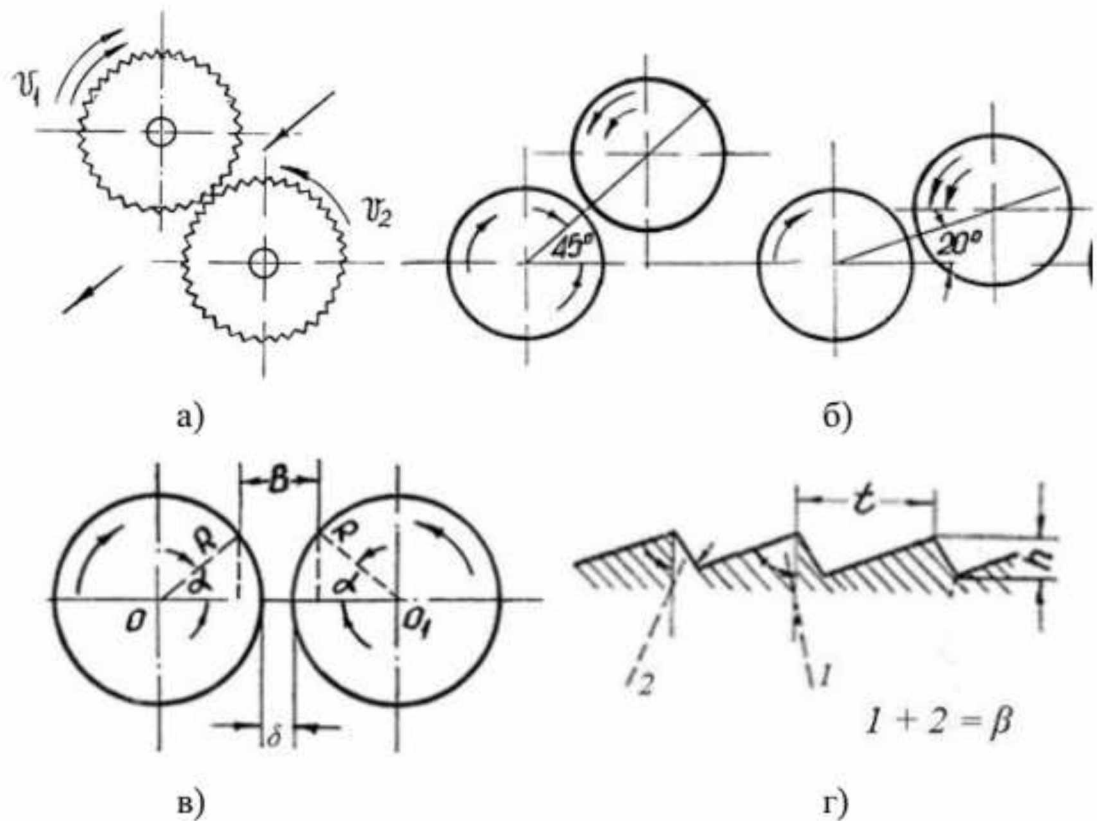


Рисунок 1.5 – Принципова схема вальцевої зернодробарки (а), варіанти розташування розмелюючих вальців (б), схема до аналізу параметрів вальців (в) і профілю рифлів (г)

Інтенсивність подрібнення матеріалу у вальцевому верстаті визначається довжиною дуги обробки. Довжина шляху обробки тим більша, чим більший радіус R вальців. Рифлена поверхня утворюється шляхом нарізки вальців різцями на спеціальних верстатах. Рифлі характеризуються профілем, кількістю їх на одиницю довжини окружності вальця, ухилом рифлів і взаємним розташуванням їх на парно працюючих вальцях.

У поперечному перерізі рифлі мають дві нерівні бічні грані – вузьку (грань вістря) і широку (грань спинки). Кут, утворений цими гранями, називається кутом загострення рифлів β . Якщо з центру вальця провести радіус до вершини рифлю, то цей кут розділиться на два кути: кут спинки 1 кут вістря 2. Відстань t між двома вершинами рифлів, виміряний по колу, називається кроком рифлів, а відстань h між окружністю западин і

окружністю виступів, виміряний по радіусу вальця, називається висотою рифлів. Крок і число рифлів пов'язані і залежать від геометричних параметрів подрібнюючого матеріалу і вимог помелу. Профіль рифлів визначається кутами «вістря» (в межах від 20 до 40°) і «спинки» (в межах від 60 до 80°) при загальних кутах загострення від 20 до 110°. На ефективне подрібнення великий вплив чинить розташування ріжучих граней рифлів по відношенню до частинок матеріалу. Можливі варіанти розташування рифлів представлені на рисунку 1.6 [21].

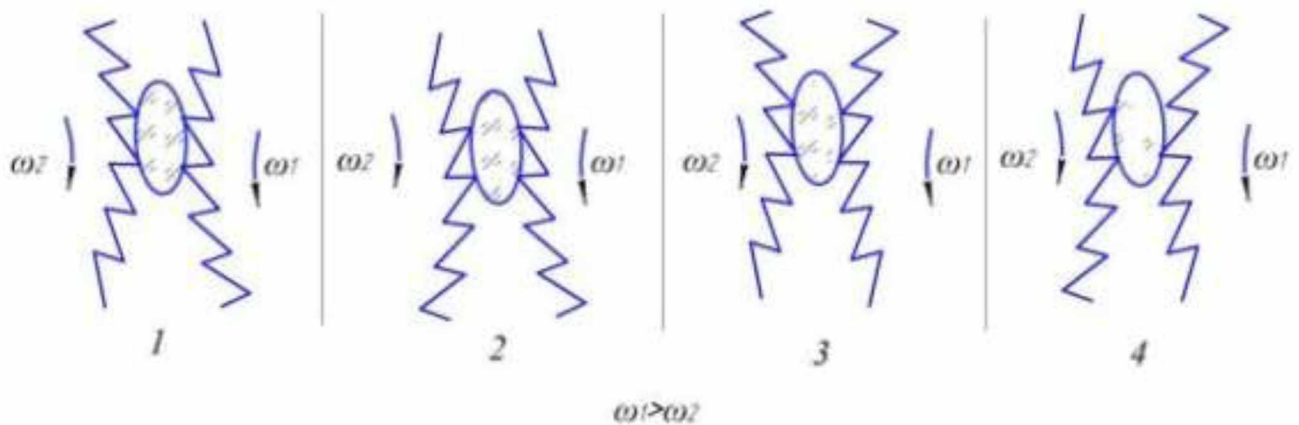


Рисунок 1.6 – Варіанти взаємного розташування рифлів вальців

В даний час використовується безліч різноманітних конструкцій подрібнювачів (дробарок) кормів, що істотно розрізняються між собою за принципом роботи, технологічній схемі. Вони діляться на решітні, універсальні і безрешітні. За даними вчених, збільшення числа подрібнюючих і сепаруючих камер покращує якість подрібнення, може забезпечувати поділ подрібненого матеріалу на фракції за розмірами частинок, масі, але викликає ускладнення конструкції, ускладнює догляд за нею і істотно підвищує її вартість (рисунки 1.7) [19].

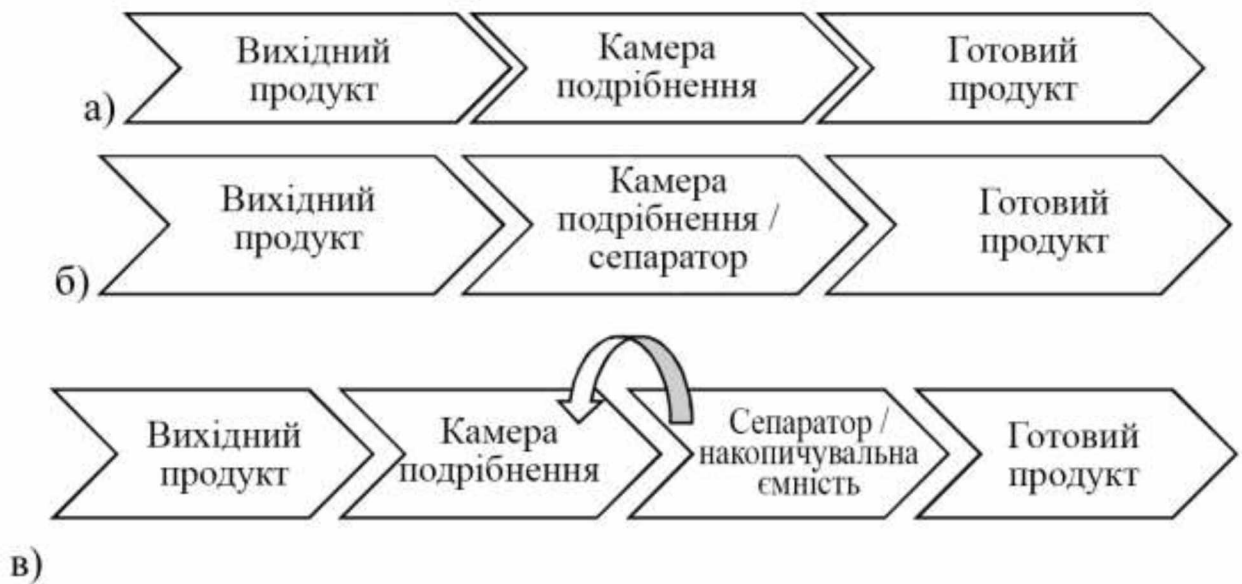


Рисунок 1.7 – Схема технологічного процесу подрібнювачів: а, б – безрешітна, в – решітна і безрешітна

Структурні блоки на рисунку обумовлюють етапи процесу подрібнення вихідного продукту, тим самим характеризують конструктивну схему подрібнювача і тривалість впливу на вихідний продукт. Також для доведення кінцевого продукту або продукту, який зручно піддавати подальшій обробці до необхідної крупності можуть додаватися додаткові елементи, наприклад, 2 камери подрібнення з двома сепараторами і т. д. [19]. В таких умовах на перший план виходять вартість подрібнювача (рентабельність), простота конструкції і заміни робочих елементів (технічне обслуговування) і можливість настройки ступеня подрібнення для різних цілей, видів зернових матеріалів і тварин (універсальність).

Тому при виборі машини визначають її переваги і недоліки в досягненні поставленого результату (продуктивність, енергоефективність, металоємність, якість подрібнення та ін.). Проте, перевага тієї чи іншої дробарки над іншою є умовною. Так, наприклад, плющилки добре справляються з приготуванням кормів жуйних тварин, а молоткові, роторні

та інші дробарки дозволяють розділити матеріал на частини необхідного розміру, що необхідно для птиці, свиней та інших тварин.

Виходячи з розглянутих технічних характеристик відомих подрібнювачів, проєктована конструктивно-технологічна схема горизонтальної роторної дробарки, повинна відповідати таким умовам:

- подрібнення вихідного матеріалу способом сколювання і зрізу;
- знижена тривалість впливу на продукт при розділенні на частини;
- вирівняність розміру часток подрібненого зернового матеріалу;
- мінімальна кількість фракцій в готовій масі, що не відповідають зоотехнічним вимогам (не більше 10%);
- знижені питомі енерго- і металоємність.

У малогабаритному виконанні мінімальні показники складуть:

- енергоспоживання до 2 кВт;
- продуктивності не менше 0,15 т/год.;
- зниження ціни в порівнянні з наявними на ринку зразками або збереження середньої ринкової ціни при досягненні більш високої ефективності.

З урахуванням описаних вище пропозицій і виходячи з відомих досліджень процесу подрібнення зернових матеріалів, необхідно провести всебічний теоретичний аналіз роботи горизонтальної роторної дробарки і експериментально обґрунтувати її раціональні конструктивні параметри і режими роботи.

Висновки і завдання досліджень

З урахуванням описаних вище пропозицій і виходячи з відомих досліджень процесу подрібнення зернових матеріалів, необхідно провести всебічний теоретичний аналіз роботи горизонтальної роторної дробарки і експериментально обґрунтувати її раціональні конструктивні параметри і режими роботи.

Напрямами, які повинні допомогти при розробці питання підвищення ефективності подрібнення зернових матеріалів, що використовуються в корм тваринам, є нові інформативні оціночні показники процесу, використання найменш енерговитратних способів впливу на матеріал з розробкою відповідних конструктивно-технологічних схем подрібнювачів.

Основні завдання дослідження:

- на основі досліджень, виявити основні напрями вдосконалення процесу подрібнення кормового зерна, обґрунтувати конструктивно-технологічну схему горизонтальної роторної дробарки;
- теоретично дослідити процес подрібнення зернових матеріалів в горизонтальній роторній дробарці;
- розробити методику оцінки ефективності процесу подрібнення;
- дослідити вплив конструктивно-режимних параметрів дробарки і фізико-механічних властивостей матеріалу на якісні та енергетичні показники, визначити їх раціональні значення;
- провести техніко-економічну ефективність.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИКА І ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Методика дослідження фізико-механічних властивостей зернового матеріалу

Для експериментів відібрано по 20 зернин кожного сорту. Всі зернівки ділилися на дві групи (дрібні і великі) для отримання найбільш точних середніх показників, так як для приготування кормів часто використовується змішаний зерновий продукт. При цьому проводилося вибракування сколених і інших некондиційних зернівок для дотримання чистоти експерименту (рисунок 2.1) [15].

Для вимірювання геометричних параметрів використовувався штангенциркуль типу ШЦЦ-І ГОСТ 166-89 класу точності 2, на якому передбачено цифровий відліковий пристрій з точністю вимірювання до 0,01 мм.



Рисунок 2.1 – Випробовувані культури: а) овес, б) кукурудза, в) ячмінь, г) пшениця

Для визначення вагових параметрів, в тому числі навісок подрібненого зернового матеріалу, використовувалися електронні лабораторні ваги ВТ-

600, які призначені для вимірювання маси твердих предметів, а також сипучих і рідких речовин. При цьому застосовувалася стандартна методика визначення абсолютної ваги (маса 1000 штук) зернових матеріалів згідно [16].

Висушування зразків зернового матеріалу (для визначення вологості і абсолютної ваги) проводилося в сушильній шафі ШС-80-01, яка призначена для сушки жирних олій, термостійких порошків і інших матеріалів та віднесені до виду кліматичного виконання – УХЛ 4.2.

Для визначення критичного напруження τ на зріз необхідно знати руйнівне зусилля F_{cp} , яке залежить від фізико-механічних властивостей зернівок (міцність, вологість, розміри та ін.), від виду зернових матеріалів (кукурудза, ячмінь, пшениця та інші) і від сорту одного і того ж виду (наприклад, сорти пшениці: екадо, любави та ін.).

Зрізи пшениці, ячменю і вівса здійснюються в цілому по 6 площинах і 3 різних напрямків, а кукурудзи в 2 площинах і 2 напрямках, так як за своєю будовою зернівки кукурудзи відрізняються від інших злаків (немає борозенки, кріпиться до качана за допомогою особливого утворення – чохлика) [15]. Загальний вигляд установки для досліджень руйнівного зусилля зернівок представлений на рисунку 2.2.



Рисунок 2.2 – Загальний вигляд установки для випробування зернівок

Установка складається з електроприводу 1, елемента зрізу 2, встановленого на тензоланці і рамі 3. Розташування зернівок в каналах різального елемента зображені на рисунку 2.3.

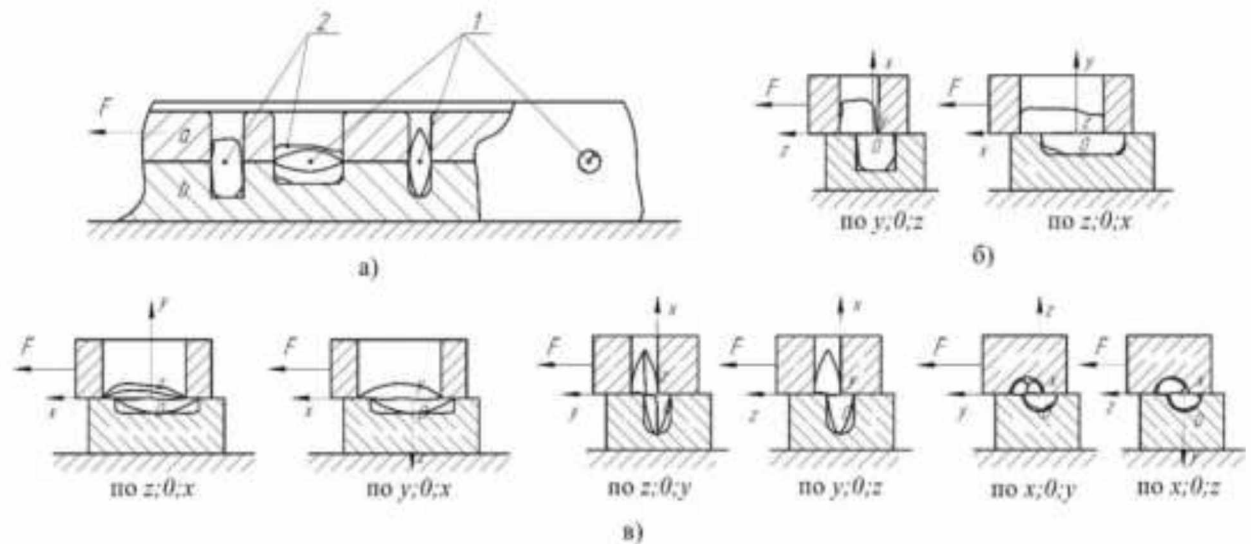


Рисунок 2.3 – Схема різального елемента (а) і зсуву зернівок кукурудзи (б), пшениці, ячменю і вівса (в) його ріжучими поверхнями

Для отримання критичного напруження додатково проводили вимір площі перетину зрізу A_{cp} вже розділених в установці зернівок.

Вплив величини робочого зазору на ефективність процесу поділу зернівок на частини перевірено при руйнуванні пшениці в поперечному напрямку.

2.2. Методика експериментальних досліджень параметрів роторної дробарки

Для проведення експериментальних випробувань використовували малогабаритну горизонтальну роторну дробарку. Для усунення зайвого перетирання матеріалу в робочій порожнині і для якнайшвидшого протікання

процесу в конструкції дробарки, передбачена обмежена робоча зона по куту $\gamma_{в.р.}$, пряма подача продукту в зону поділу на частини і висновок відразу після сколювання.

Конструкція експериментальної машини дозволяє: застосовувати індивідуальні робочі поверхні для кожної подрібнюваної культури; варіювати робочий зазор і довжину ротора; спостерігати за дробленням і рухом зернового матеріалу в робочій камері через виконану з оргскла прозору стінку корпусу; регулювати частоту обертання ротора під час досліджень з дроблення зернофуражу.

Пошук раціональних параметрів і режимів роботи здійснювався шляхом варіювання робочих зазорів і положення робочих органів.

Дана горизонтальна роторна дробарка лабораторної установки виконана з бункером для вихідного продукту об'ємом 1,5 л (вміщує 1 кг зернового матеріалу) і завантажувальне вікно в корпусі статора розмірами 55 × 35 мм. Корпус статора з зовнішнім діаметром 173 мм і внутрішнім 142 мм шириною 63 мм. Ротори довжиною (l) 30, 60 і 90 мм, мають діаметр в зборі $D = 100$ мм, внутрішній діаметр їх знімної поверхні дорівнює 70 мм. Дека статора з протирізом має ширину залишкової радіальної відстані між рифлями ротора і корпусом статора 19 мм і встановлюється прокладками для регулювання робочого зазору δ . Вивантажувальне вікно вифрезеровано в корпусі статора і має розміри 55 × 35 мм. Обмежувальна «губа» має зовнішній діаметр, рівний внутрішньому діаметру статора (142 мм) і внутрішній діаметр, рівний діаметру ротора в зборі (100 мм). Бічні стінки корпусу, в тому числі одна з оргскла, діаметром 173 мм, виготовлені зі сточеними по краях на 31 мм в радіальному напрямку внутрішньою поверхнею (висота поверхні 1,5 мм) для щільної посадки на корпус статора, і шириною 5 мм (15 мм для оргскла) мають співвісні гільзи діаметром 52 мм для усадки вала діаметром 25 мм з однорядними радіально-упорними кульковими підшипниками.

Принцип роботи вдосконаленого подрібнювача можна описати як завантаження матеріалу (зернові культури) в бункер 1, транспортування цього продукту в зону руйнування дробильної камери 14 і виведення подрібненого вихідного продукту з порожнини між статором і ротором через розвантажувальне вікно 11.

Схема цього подрібнювача представлена на рисунку 2.3.

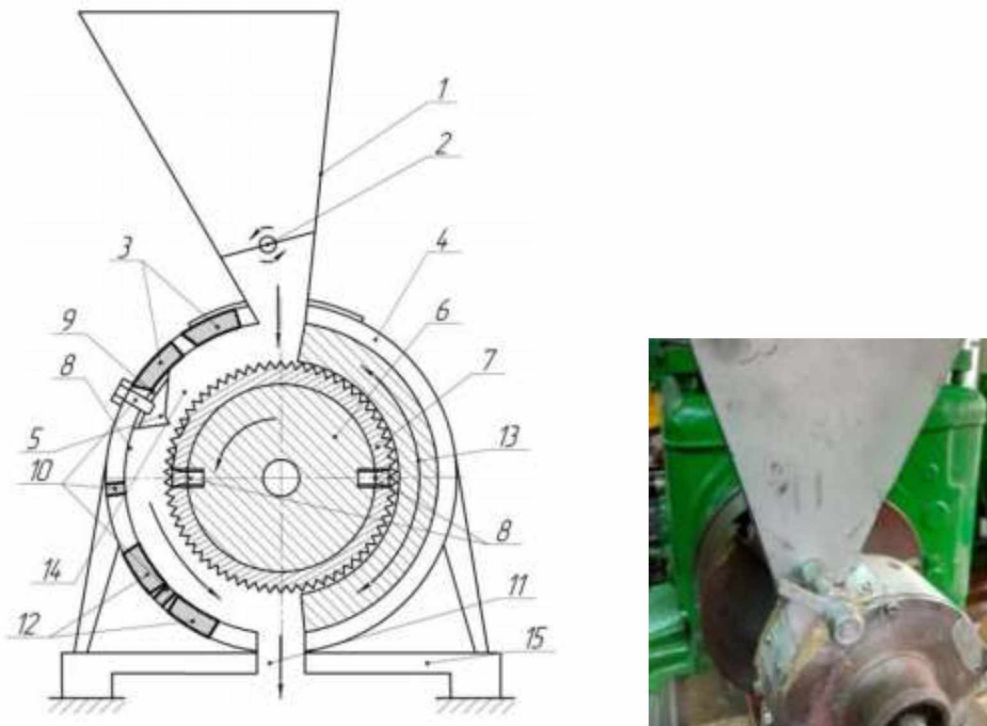


Рисунок 2.3 – Схема роторної дробарки: 1 - завантажувальний бункер, 2 - заслінка регулювання подачі, 3 - заглушки в додаткових місцях розташування завантажувального вікна, 4 - статор, 5 - зуб, 6 - ротор, 7 - знімний елемент ротора з пазами, 8 - кріплення знімного елемента ротора, 9 – прокладка, що регулює зазор між ротором і статором, 10 - кріплення і дві заглушки в додаткових місцях розташування елемента зрізу, 11 - розвантажувальний бункер, 12 - заглушки в додаткових місцях розташування розвантажувального вікна, 13 - обмежувальна губа, 14 - дробильна камера, 15 - рама

При цьому в горизонтальній роторній дробарці передбачені:

- можливість регулювання швидкості подачі вихідного продукту за допомогою обертової заслінки 2 і переміщення бункера 1 в трьох положеннях 3 на корпусі статора 4;
- різне комплектування елементів зрізу (1, 2 і 3 зуба) 5, що встановлюються з прокладкою 9, товщина якої дозволяє регулювати зазор між статором і ротором і має три варіанти кріплення 10 на статорі 4;
- перенастроювання ротора 6 шляхом заміни його поверхні 7 з рифлями;
- можливість зміни місця установки розвантажувального вікна 11, що має два додаткових варіанти розташування 12 на корпусі 4;
- можливість обмеження простору в порожнині статора губою 13 для блокування що не використовуються в процесі подрібнення зон дробильної камери 14;
- знімні елементи, які в зборі із заглушеними (невикористовуваними в конкретному варіанті) отворами кріпляться на рамі 15.

Передбачена можливість варіювання робочих характеристик:

- швидкістю подачі матеріалу від 0 до 100%;
- зазором між ротором (пазами) і статором (зубцем) від 0 до 3 мм;
- швидкістю обертання ротора при 100 ... 2000 хв⁻¹.

Для визначення швидкості подачі бункер знімали з корпусу подрібнювача і перевіряли чисту швидкість витікання 1 кг зернівок в різних положеннях заслінки.

Привід подрібнювача здійснювався пасовою передачею від трифазного асинхронного електродвигуна АІР80А6 ГОСТ 2479, що живиться від мережі 220 В (потужність 0,8 кВт, швидкість обертання 1000 об/хв.), а дробарка встановлена на листі фанери товщиною 20 мм, щільно закріпленої на спеціально виготовленій рамі. Електродвигун прийнятий за максимальною теоретичною потужністю необхідної на подрібнення $P = 550$ Вт, з

урахуванням ККД і результатів експериментів з критичною напругою зернівок на зріз τ .

Дослідження гранулометричного складу подрібненого зернового матеріалу проводилося за допомогою ситового аналізу на лабораторній установці У1-ЕРЛ-10-1, яка використовується для визначення крупності і сміттевої домішки.

Висновки

Представлена загальна методика досліджень, що враховує залежність конструктивних і технологічних параметрів на показники досліджуваного процесу виробництва подрібненого зерна.

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ТЕОРЕТИЧНИХ І ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Удосконалення технологічного процесу подрібнення зернових матеріалів в горизонтальній роторній дробарці

Для забезпечення стабільності та надійності реалізації технологічного процесу подрібнення і для того, щоб рифлі ротора і статора найбільш ефективно взаємодіяли з матеріалом необхідно обґрунтувати їх форму, розташування і орієнтацію в порожнині дробарки. При цьому робочі поверхні повинні мати постійні геометричні параметри, ймовірно виходячи з розмірних характеристик і фізико-механічних властивостей матеріалу, на який вони впливають.

Після встановлення цільового призначення роторного подрібнювача, згідно узагальненою методикою, необхідно визначити всі фактори, що впливають на оптимальну працездатність і функцію найвигіднішого рішення для підвищення ефективності подрібнення в ньому зернових матеріалів.

Для цього розглянемо більш детально роботу горизонтальної роторної дробарки. З кінематики процесу вона схожа з молотковою дробаркою, проте в її конструкції поділ вихідного матеріалу на частини відбувається при кожній взаємодії зернівок з робочими органами (рифлями) ротора і статора, а не при зіткненні об молотки і футеровку у вигляді решета. При цьому подрібнення вихідного продукту відбувається в обмеженій робочій зоні.

Встановлено, що найбільш ефективна технологічна схема для отримання якісного однорідного гранулометричного складу подрібненого продукту реалізується в конструкції вальцевої дробарки, а найбільш оптимальним для зниження енергоємності процесу подрібнення способом впливу на матеріал є зріз і сколювання.

Виходячи з встановленого цільового призначення робочих поверхонь горизонтальної роторної дробарки – зрізаючий або сколюючий вплив на матеріал для поділу його на задану кількість частин заданого розміру, можна порівняти конструктивні схеми вальцевої зернодробарки і пропонованого горизонтального роторного подрібнювача, представивши їх робочі поверхні гладкими (рисунок 3.1) [20].

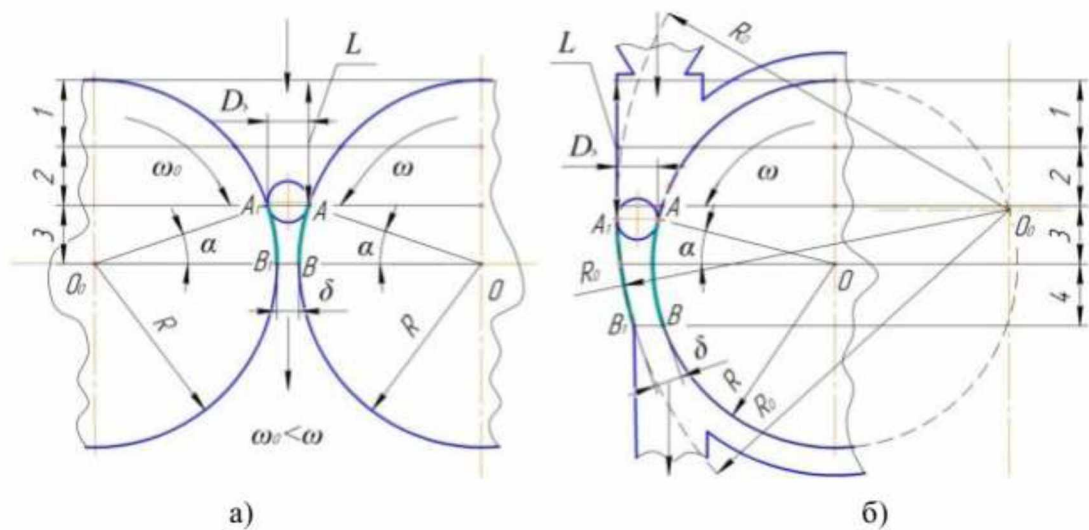


Рисунок 3.1 – Порівняльна схема вальцевої (а) і роторної (б) зернодробарок

В одному випадку (рисунок 3.1 а) ми маємо два обертових назустріч один одному з різною швидкістю ($\omega_0 < \omega$) вальця, а в іншому (рисунок 3.1 б) обертається ротор і нерухомий статор. На рисунку показані кути захоплення α вихідної частинки розміром d_e і схематично представлені зони дробильної камери, за якими вона рухається в процесі подрібнення - 1, 2, 3 відповідно. Далі в зоні $A A_1 B B_1$ – безпосереднього впливу робочих поверхонь на зернівку матеріалу, відбувається її руйнування і виведення отриманих частинок з дробарки через зазор δ . При цьому в роторній дробарці дуга цієї зони $A_1 B_1$ утворена окружністю радіусом R_0 , центр якої O_0 знаходиться на колі ротора радіусом R . Зона обробки частинок 4 відповідає за додаткове

калібрування їх за розміром зазору δ або якщо необхідно до меншої крупності.

Також на порівняльній схемі видно, що при збереженні аналогічних геометричних параметрів радіусу вальців і ротора R , типу і висоти L подачі матеріалу, ймовірно, будуть відрізнятися кут захоплення α вихідної частинки матеріалу і тривалість безпосереднього подрібнюваного впливу на продукт в зоні, утвореній дугами AB і A_1B_1 . У вальцьовій дробарці довжина цих дуг однакова, а в роторній може бути різною.

Таким чином, конструкція горизонтальної роторної дробарки дозволяє організувати принцип подрібнення зернового матеріалу, заклинювання - вплив - виведення. Але за рахунок того, що обертатися зі швидкістю ω буде тільки ротор, можливе зниження стискаючих і стираючих впливів, які призводять до утворення дрібних борошнистих фракцій, нагрівання продукту, перевитрати енергії при збереженні одержуваного однорідного складу подрібненого матеріалу.

З урахуванням того, що в конструкції пропонованої горизонтальної роторної дробарки завантаження матеріалу і вплив на нього відбуваються по вертикалі паралельній дотичній до радіусу ротора, робочі органи можуть бути встановлені таким чином, як показано на рисунку 3.2.

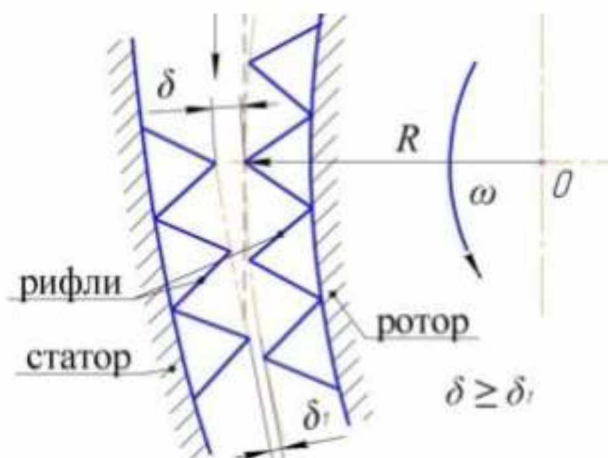


Рисунок 3.2 – Схема робочих поверхонь статора і ротора

Для здійснення в цій конструкції поділу матеріалу на частини за допомогою дотичного напруження зсуву пропонується використовувати спосіб «сколювання-зріз». Тоді поділ зернівки має наступати після концентрованого удару по ній двох ріжучих поверхонь. Тобто, матеріал, затиснутий між двома поверхнями ротора і статора, сколюється або зрізається за рахунок руху рифлів ротора відносно нерухомих рифлів статора.

3.2 Кінетика процесу подрібнення зернових матеріалів в горизонтальній роторній дробарці

Процес подрібнення зернового продукту в роторній дробарці представляється в такий спосіб. Зернівки, вступаючи з бункера в завантажувальне вікно, наповнюють приймальню (дробильну) камеру, потрапляють в поздовжні пази ротора і транспортуються до них до зрізаючих елементів статора, які проводять зміну їх природної (вихідної) форми. При цьому відбувається заповнення всього простору між ротором і внутрішньою поверхнею статора, як вихідним продуктом, так і залишилися після зрізу частинами зернівок. Отримані частки продукту переміщуються далі в пазах ротора до розвантажувального вікна.

Таким чином, в конструкції горизонтального роторного подрібнювача можливе утворення пилоподібної фракції і прохід цілих зернин залежать від умов транспортування і розподілу їх на крупу в порожнині між статором і ротором. Велике значення при цьому будуть мати орієнтація зернівок в момент різання, значення робочого зазору, форма і кількість рифлів, фізико-механічні властивості зернівок, і інші фактори [21].

Для уявлення кінетики процесу в першу чергу визначимо зручні (спрощені) для механіко-математичного моделювання геометрію зернівки і форму робочих органів горизонтальної роторної дробарки.

Незважаючи на анізотропність, зернівку будь-якої сільськогосподарської культури можна віднести до одного з простих тривимірних об'єктів, що володіють висотою - a , шириною - b , довжиною - c , або радіусом - r . Наприклад, зернівку пшениці, ячменю, вівса можна представити у вигляді прямокутного паралелепіпеда (рисунок 3.3, а), циліндра (рисунок 3.3, б) і кулі (рисунок 3.3, в). Розглядаючи ці тривимірні об'єкти в різних площинах, при теоретичному аналізі процесу подрібнення зернових матеріалів використовують модельні форми прямокутника, овалу (еліпса), кола і т. д. [22].

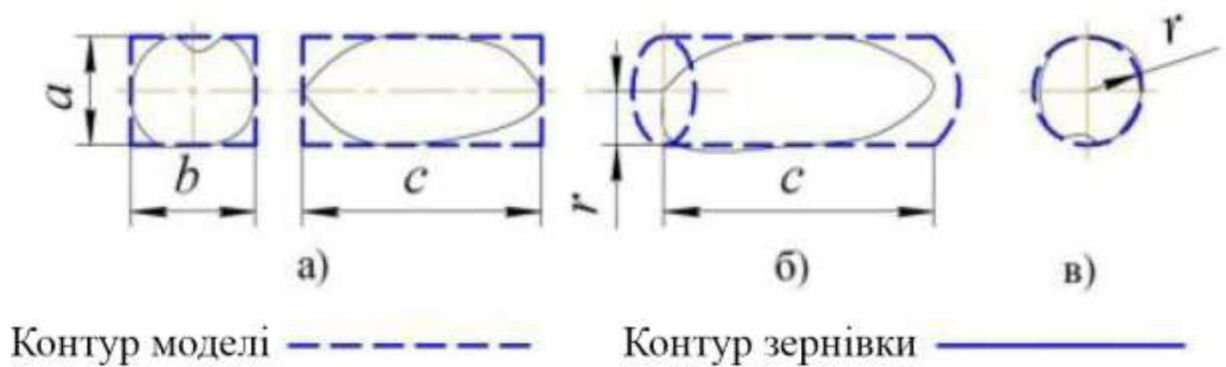


Рисунок 3.3 – Варіанти модельних зернівок: а) прямокутний паралелепіпед, б) циліндр, в) куля

Перетворюючи схему запропонованої горизонтальної роторної дробарки, виходячи з цільового призначення її робочих органів і з урахуванням прийнятої на рисунку 3.2 форми рифлів, отримаємо спрощену модель впливу на матеріал нерухомим елементом зрізу, який в подальшому будемо називати «протиріз», і обертовим ротором з одним пазом прямокутної форми (рисунок 3.4).

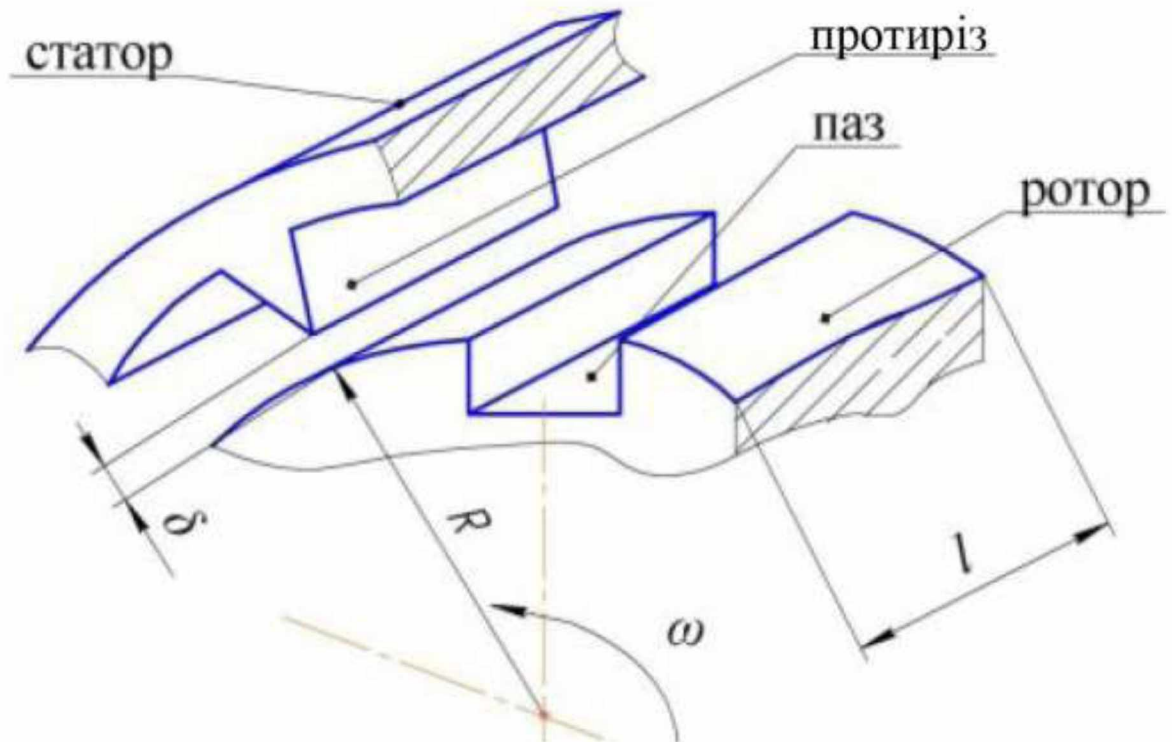


Рисунок 3.4 – Фрагмент робочих поверхонь спрощеної моделі горизонтальної роторної дробарки

Розмістимо в пазу шириною l модельну зернівку вихідного матеріалу у формі прямокутного паралелепіпеда зі сторонами, відповідними нерівності $a < b < c$. Для реалізації зрізу вона повинна виступати за його межі так, щоб взаємодія з протирізом статора відбувалося її частиною, що виступає. З'являється шість простих (горизонтально і вертикально) варіантів розміщення цієї зернівки в пазу ротора, показаних на рисунку 3.5.

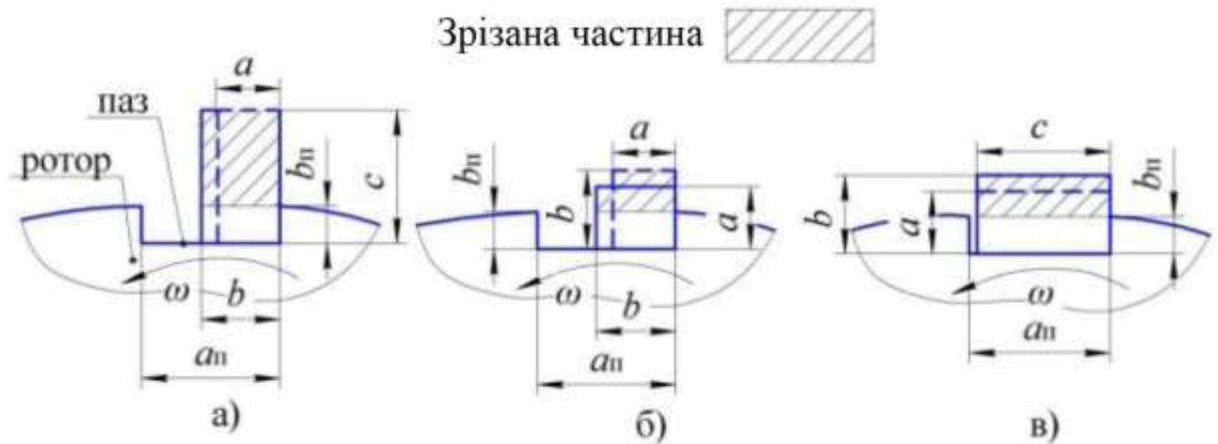


Рисунок 3.5 – Розміщення моделі зернівки в пазу ротора: вертикально (а), горизонтально по довжині (б) і горизонтально по ширині (в)

Тоді необхідні розміри паза ротора для розміщення в ньому модельної зернівки визначаються:

$$\begin{aligned} a + b &\geq a_n \geq c; \\ a/2 &\geq b_n > 0, \end{aligned} \quad (3.1)$$

де a_n – ширина паза ротора, м;

b_n – висота паза ротора, м.

При цьому максимальна і мінімальна кількість модельних зернівок, що одночасно знаходяться в одному пазу довжиною l , визначиться відношеннями:

$$\begin{aligned} N_{\text{м.з. max}} &= l/a; \\ N_{\text{м.з. min}} &= l/c, \end{aligned} \quad (3.2)$$

де $N_{\text{м.з. max}}$, $N_{\text{м.з. min}}$ – максимальна і мінімальна кількість модельних зернівок в одному пазу, шт.

Площа зрізаного в пазу зернового матеріалу буде дорівнювати:

$$\begin{aligned} A_{\text{ср. max}} &= l \cdot c; \\ A_{\text{ср. min}} &= l \cdot a, \end{aligned} \quad (3.3)$$

де $A_{cp. max}$, $A_{cp. min}$ – максимальна і мінімальна площа поверхні зрізаного в одному пазу зерна, m^2 .

Як відомо зріз супроводжується наростанням дотичних напружень в матеріалі, в результаті яких і відбувається зсув однієї частини матеріалу відносно іншої. Обертаючись в пазах ротора, модельна зернівка проходить через протирізи статора, де за допомогою зсуву ділиться на дві частини, одна з яких 1 виводиться з дробильної камери відразу, а друга 2 може бути зрізана повторно або виведена на наступному обороті ротора (рисунок 3.6).

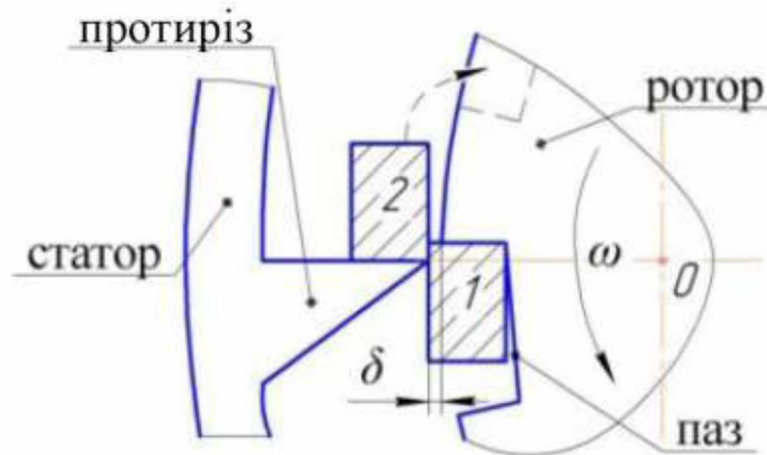


Рисунок 3.6 – Схема процесу поділу моделі зернівки зрізом

При цьому важливою умовою зрізу (зсуву) є відсутність або наявність мінімально можливого зазору між ріжучими крайками рифлів статора і ротора, який необхідний для надійної роботи дробарки [19, 22].

Остаточна геометрія простору приймальної камери, протирізу і пазів горизонтальної роторної дробарки буде залежати не тільки від фізико-механічних властивостей зернового матеріалу, але і від необхідної крупності помелу. Щоб зрозуміти, як змінюється положення зернівок вихідного продукту в порожнині горизонтального роторного подрібнювача, необхідно з'ясувати які сили діють на них під час транспортування, розподілу на частини і виведення з дробильної камери [10, 22].

При нерухомому роторі відбувається вільне заповнення робочої порожнини зерном, яке укладається і створює тиск H на нижче лежачі шари зернівок в зоні зрізу, який можна визначити за формулою:

$$H = \rho \cdot g \cdot L, \quad (3.4)$$

де ρ – насипна щільність зернового матеріалу, кг/м^3 .

При обертанні ротора частина зернівок відштовхується від нього і перешкоджає іншим переміщатися вниз. Окремі зернівки утримуються в пазах. Це призводить до зміни укладання загальної маси зерна і зниження тиску H_m на зернівки в зоні зрізу, який визначиться з рівняння:

$$H_t = \rho_0 \cdot g \cdot L, \quad (3.5)$$

де ρ_0 – поточна насипна щільність зернового матеріалу, кг/м^3 ;

L – висота приймальної камери, по якій тисне шар матеріалу, м.

З іншого боку зниження насипної щільності можливо за рахунок додаткового насичення зернового матеріалу повітрям, що подається обертовим ротором. Порозність матеріалу буде тим інтенсивніша, чим герметичніша камера робочої порожнини, а також вона зросте зі збільшенням частоти обертання ротора дробарки. Крім того, в нижній частині робочої порожнини дробарки зі збільшенням швидкості повітряного потоку, більш інтенсивно будуть відкидатися цілі, частково зруйновані та дрібні частинки зерна. Це в кінцевому рахунку може знизити заповнення пазів ротора і продуктивність дробарки в цілому.

Як показав аналіз роботи роторної дробарки процес руху зернівок в робочій порожнині має складний імовірнісний характер і вимагає окремого самостійного наукового дослідження, теоретичного обґрунтування та експериментального підтвердження.

Вище для опису кінетики руху зернівки, на роторі був обраний прямокутний паз. Але така форма паза не може утримати зернівку в ньому до її зрізу. Крім того, прямокутний паз передбачає наявність неробочих ділянок на роторі (перехідні площадки), контактуючи з якими частки зернового матеріалу будуть відразу «відбиватися» обертовим ротором. Щоб виключити ці ділянки, пропонується трикутна нарізка рифлів, коли кінець попереднього паза є початком наступного.

При цьому взаємне розташування рифлів ротора і статора відповідає схемі - «вістря по лезу», а за рахунок виконання ухилу стінок рифлів (пазів) в напрямку обертання ротора і відсутність перехідного майданчика між ними досягається захоплення (заклинювання зернівки) матеріалу в зоні сколювання (рисунок 3.7).

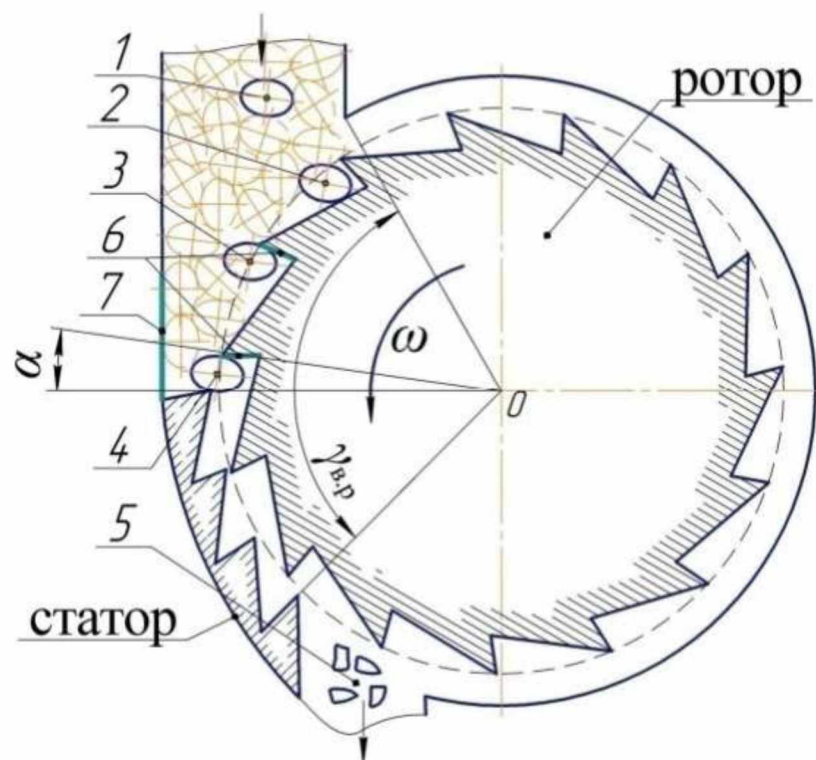


Рисунок 3.7 – Схема руху зернівки в порожнині горизонтальної роторної дробарки з видозміненими 6, 7 поверхнями робочих органів: 1 – завантажувальному бункері, 2, 3, 4 – циркуляція в приймальній камері, заклинювання і зріз, 5 – виведення подрібнених частинок з дробарки

Процес подрібнення від завантаження вихідного продукту до виведення його частинок в представленій схемі подрібнювача відбувається при впливі ротора по куту $\gamma_{в.р}$, що мінімізує тривалість впливу робочих органів на зернівки сільськогосподарських культур, а також організована «пряма» подача матеріалу в зону зрізу [22].

Відцентрова сила буде частково компенсуватися похилою стінкою паза 6 і зернівка займе більш стійке положення в ньому, що поряд з упором 7 спинки статора допоможе запобігти її небажаний виліт з пазів ротора. Ці зміни покликані спростити защемлення продукту за кутом α для подальшого різання і сколювання.

Отже, при попаданні зернівки на обертовий ротор їй надається круговий рух зі швидкістю ротора. Відцентрова сила спрямована від центру і, будучи прикладеною до зернівки, намагається виштовхнути її в радіальному напрямку, піднімаючи (відриваючи) з паза. При цьому виникають сили інерції, тертя, які поряд з силою тяжіння і тиску шару (стовпа) і повітряним потоком намагаються врівноважити відцентрову силу.

Чим вище окружна швидкість ротора, тим більший вплив вона робить на виліт зернівок з паза, щільність укладання продукту, повітряні потоки в порожнині дробарки. Тоді, незважаючи на форму рифлів прийняту для протидії відцентрової сили $F_{ц}$, має існувати критичне значення цієї швидкості, при якому дія описаних вище факторів буде порівняти з ефективною роботою горизонтальної роторної дробарки.

3.3. Дослідження фізико-механічних властивостей зернових матеріалів

Були проведені експериментальні дослідження фізико-механічних властивостей зернових матеріалів (вологість, розмірно-вагові параметри, критичне напруження зрізу). Результати цих експериментів занесені в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 – Фізико-механічні властивості досліджуваних зернових матеріалів

Вид зернового матеріалу	Геометричні характеристики, мм			Маса 1000 шт., г	Вологість, %
	довжина	ширина	Висота		
Пшениця	5,99	3,08	2,75	32	11,89
Ячмінь	8,64	3,46	2,67	41	12,22
Овес	9,36	2,44	2	31	12,04
Кукурудза	10,01	8,43	4,73	275	10,83
σ	0,3...1,1			5,1...48,3	1...2
$V, \%$	8...15			13...17	9...18

Уточнені показники вагових і геометричних параметрів при коефіцієнті варіації $V = 8 \dots 17\%$. Вологість випробовуваних зразків протягом усіх експериментів не перевищувала 14,5%, тобто відповідала вимогам до зерна, призначеного для виробництва комбікормів.

Експериментами на установці по випробуванню руйнівного зусилля зернівок F_{cp} (статичного) при коефіцієнті варіації $V = 18 \dots 26\%$, 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. За даними сили F_{cp} і площі A_{cp} визначили критичні напруги τ зернівок на зріз по трьом площинам поділу, середні значення яких занесені в таблицю 3.2.

Таблиця 3.2 – Критичні напруги на зріз зернових культур

Вид зернового матеріалу	Критичне напруження зрізу, МПа		
	Вздовж зернівки		Впоперек зернівки
	$z; 0; x$	$x; 0; y$	$y; 0; z$
Пшениця	10,7	11,5	7,6
Ячмінь	12,5	14,5	3,8
Овес	9,9	11,4	3,5
Кукурудза	4,6		2,9
σ	2,5...3 МПа		15...2 МПа
$V, \%$	19...25		18...26

Також досліджена міцність зернівок пшениці при статичному руйнуванні, зі зміною величини зазору між робочими поверхнями різального елемента установки. За результатами експерименту відзначені зміна руйнівного зусилля τ , кількості зернівок, подрібнених на 3 і більше частини $N_{3ч}$ і числа цілих часток $N_{ц}$. Критичне напруження τ зернівки зростає в середньому з 8,7 МПа при мінімальному зазорі і до 11,9 МПа при $\delta = 1,5$ мм. Через складність фіксації зернівок при впливі на них робочих поверхонь різального елемента поява 5 ... 15% $N_{ц}$ спостерігається вже при $\delta = 1$ мм і збільшується аж до 100% при $\delta > 1,5$ мм. Руйнування зерна на 3 і більше частини $N_{3ч}$ є при будь-якому зазорі і змінюється, зростаючи від 7% до 15% при робочому зазорі 1,5 мм, що пов'язано з різною структурою зернівок, мікротріщинами в них та інших факторів. Якщо встановити зазор вище 1,5 мм, то процес подрібнення практично не здійснюється, що підтверджується при руйнуванні пшениці із зазором 2 мм між робочими органами різального елемента, коли в готовому продукті знаходилося до 80% цілих зернин (рисунок 3.8).

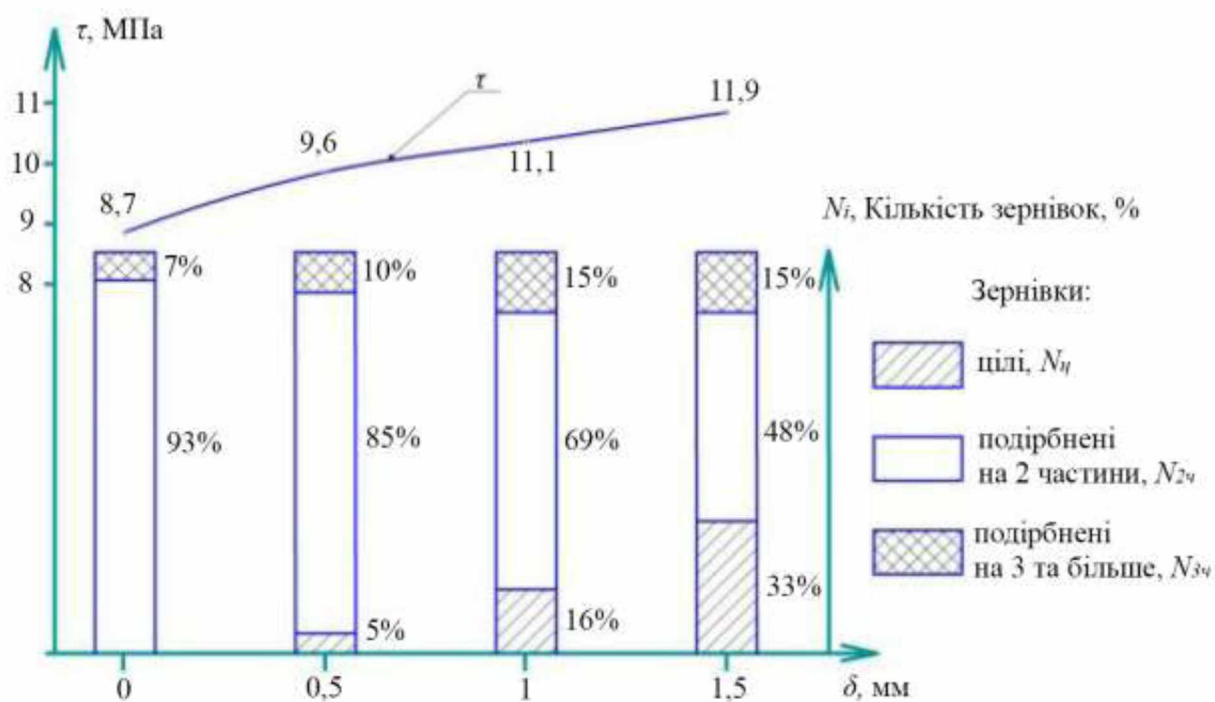


Рисунок 3.8 – Зміна характеру подрібнюваності зерна і різального зусилля по пшениці на спеціалізованій установці

Також відзначено збільшення часу поділу на частини зернівок, що пояснюється виникненням згинальних складових. На скол зернівки пшениці поперек з мінімальним зазором в середньому потрібно зусилля близько 80 Н, а з зазором 1,5 мм - 90 Н, при цьому час поділу склав 0,6 с і 1 с відповідно (рисунок 3.9).

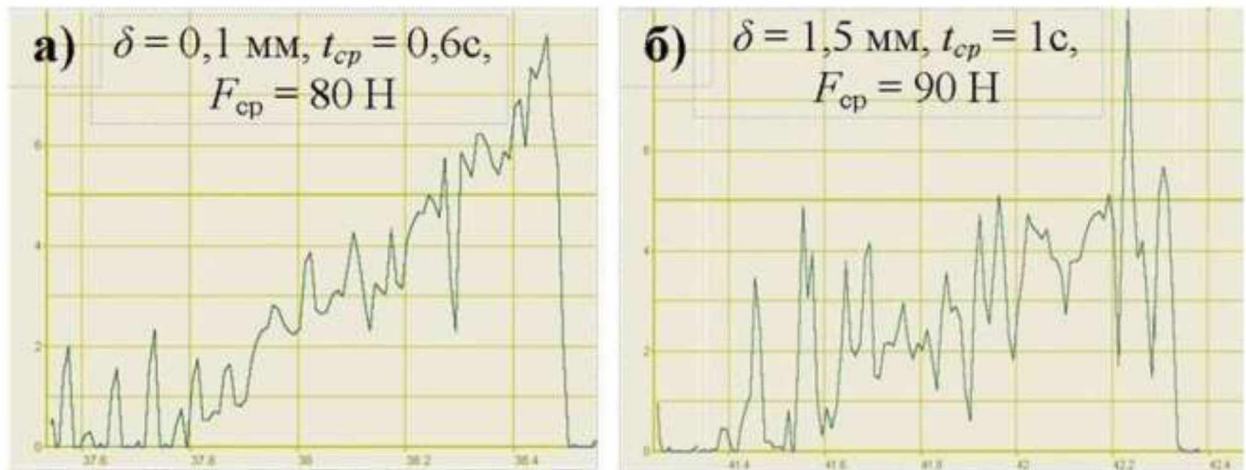


Рисунок 3.9 – Характерний графік зміни руйнівного зусилля зернівки пшениці на установці при мінімальному (а) і максимальному (б) робочому зазорі між поверхнями різального елемента

При поперечному руйнуванні зернівки пшениці з зазором і без (менше 0,5 мм) в статистиці можна відзначити:

- тривалість до настання руйнування збільшується до двох разів при нарощуванні робочого зазору;
- кількість зернівок, що руйнуються на 3 і більше частини при поділі зі збільшеним зазором в 5-10 разів вище, ніж при зрізі з мінімальним;
- кількість цілих, не підданих подрібненню, зернівок при зазорі 1,5 мм і вище склало 33% і більше від загальної маси;
- середнє значення критичної напруги для поділу зернівок пшениці поперек зростає зі збільшенням зазору на 10 - 20%.

Таким чином, для здійснення саме дотичних різальних напружень в розглянутій конструкції необхідно стежити за зазором між робочими поверхнями ротора і статора. При його збільшенні руйнування починає набувати вигинальний і стиральний характер, що тягне за собою підвищене утворення пилоподібних фракцій, прохід недоподрібнених і збільшується енергоємність процесу подрібнення.

3.4. Обґрунтування конструктивно-режимних параметрів дробарки

Для підтвердження обґрунтованих теоретичних передумов підвищення ефективності провели ряд попередніх пошукових експериментів при грубому помелі ($M = 1,5 \dots 3$ мм) пшениці.

Досліджено вплив кількості протирізу (рифлів) статора $n_{n.c}$ на якість подрібненого продукту при робочому зазорі $\delta = 0,8$ мм і при частоті обертання ротора ($l = 0,06$ м) 1400 хв^{-1} . Дані по кількості, отриманих в ході цього експерименту, фракцій подрібненої пшениці представлені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Дані експерименту по впливу кількості рифлів статора на якість подрібнення пшениці

Показник	Кількість рифлів статора $n_{n.c}$, шт.			
	1	2	3	4
Недомолот, %	0,6	0,0	0,0	0,0
Перемолот, %	3,4	4,5	6,6	9,2
Необхідна крупність, %	96	95,5	93,4	90,8

Вплив кількості діючих зубців на статорі, на фактичну результативність процесу, модуль помелу і ступінь подрібнення представлено на рисунку 3.10.

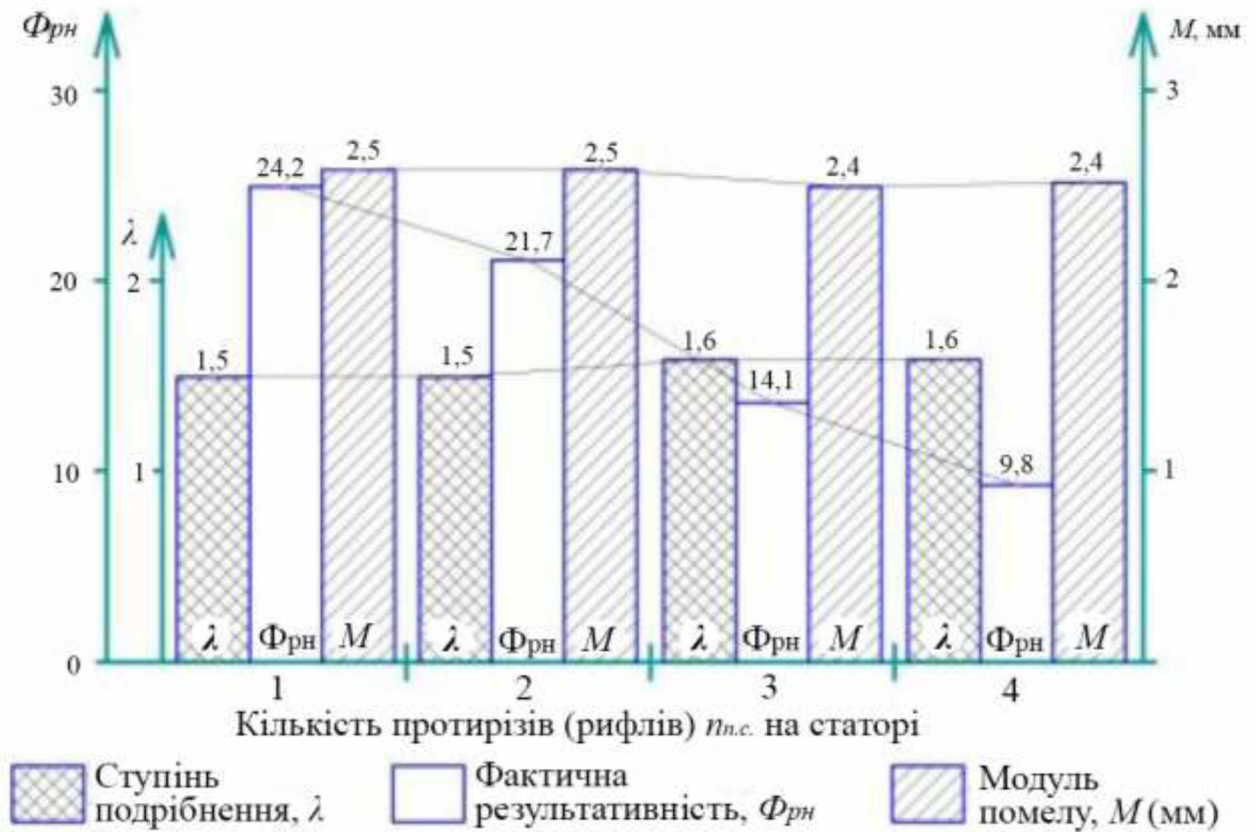


Рисунок 3.10 – Залежність якісних показників процесу подрібнення від кількості рифлів $n_{n.c.}$ на статорі

Досліди показали, що при збільшенні кількості рифлів модуль помелу M і ступінь подрібнення λ змінюються незначно. Але фактична результативність подрібнення Φ_{pn} знижується з 24,2 до 9,8. За цими трьома оціночними показниками готовий продукт відповідає грубому помелу, але при цьому запропонований показник Φ_{pn} чутливіший при зміні вирівненості розміру часток в подрібненій масі зерна. Даний досвід підтвердив можливість поділу вихідного продукту на частини при одному протирізу на статорі для середнього та грубого помелу. При тонкому помелі кількість рифлів статора можна рекомендувати в межах $n_{n.c.} = 3 \dots 4$.

Для з'ясування раціональних значень частоти обертання ротора n і робочого зазору δ між рифлями ротора і статора, при яких досягається необхідний гранулометричний склад готового продукту, проведені експерименти з подрібнення пшениці з одним протирізом на статорі.

Таким чином, дані дослідів дозволили визначити раціональне значення робочого зазору δ і частоти обертання ротора n виходячи з показників (M , λ , Φ_{pn}) якості процесу.

З графіка на рисунку 3.11 видно, що найкращий робочий зазор буде близьким до нульового значення. Так фактична результативність в цьому випадку максимальна і дорівнює 42,7, ступінь подрібнення також максимальний і дорівнює 2, при цьому значення модуля помелу 1,9 мм відображає вплив на кожну зернівку. При збільшенні зазору якість готового продукту гірша за рахунок підвищеної кількості цілих зернин і пилоподібних фракцій готового продукту. Це відбилося в показниках фактичної результативності та ступеня подрібнення, які знизилися до 11,7 і 1,5 відповідно, а модуль помелу навпаки зріс до 2,5 мм, що пояснюється наявністю великих за розміром частинок продукту.

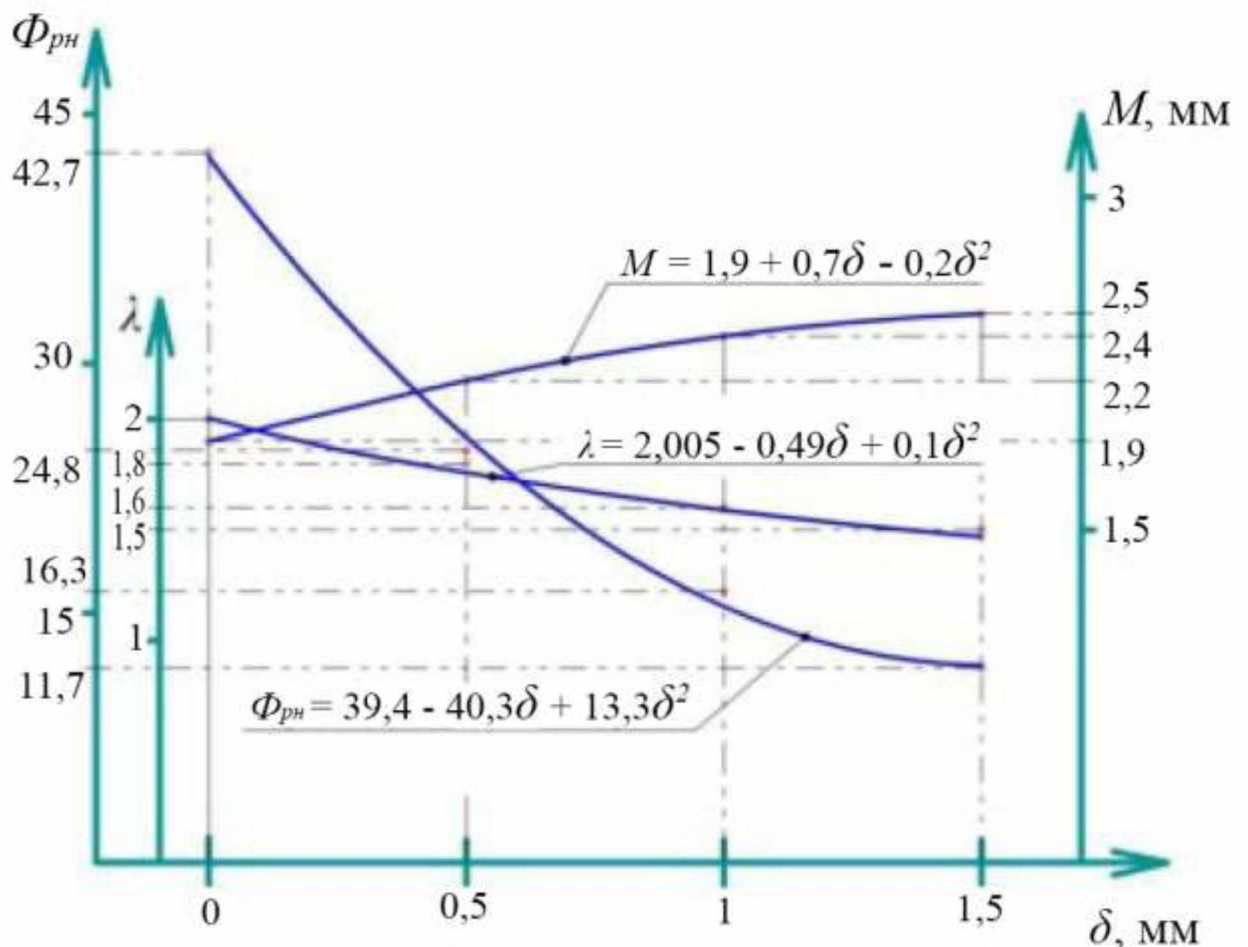


Рисунок 3.11 – Якість подрібнення при зміні робочого зазору δ ($n = 1400 \text{ хв}^{-1}$, $l = 0,06 \text{ м}$)

Значення зазору $\delta \approx 0$ мм можна вважати оптимальним, так як при мінімальному зазорі між зубом статора і пазами ротора виключається проліт цілих зерен матеріалу, що мінімізує недоподрібнення фракції. При цьому, як показав експеримент, кількість борошняних фракцій при використанні удосконаленої горизонтальної роторної дробарки залишається в допустимих значеннях – до 2%.

При частоті обертання ротора $n = 700 \dots 900 \text{ хв}^{-1}$ ($v_p = 3,7 \dots 4,7 \text{ м/с}$), довжина якого 0,06 м спостерігається максимальна фактична результативність процесу подрібнення пшениці $\Phi_{pn} = 58,2$, при цьому модуль помелу дорівнює 2,3 мм, а ступінь подрібнення становить 1,6. При збільшенні частоти обертання ротора до 1600 хв^{-1} ($v_p = 8,4 \text{ м/с}$) за рахунок збільшення перемолота зерна, фактична результативність процесу падає до 17,1, а модуль помелу становить $M = 2,2$ мм, при $\lambda = 1,7$.

На швидкість витікання вихідного продукту із завантажувального бункера будуть впливати як його розмір, так і фізико-механічні властивості матеріалів, що засипають в нього, можна зробити ряд висновків і рекомендацій:

- подача впливає на продуктивність;
- швидкість подачі не повинна порушувати або повинна відповідати максимальній продуктивності подрібнювача;
- вплив на продуктивність швидкості надходження матеріалу в приймальну камеру менш значущий в порівнянні з частотою обертання ротора.

Максимальна швидкість подачі вихідного зернового матеріалу, що досягається в наявному бункері, склала близько 350 ... 400 кг/год.

Результати досліджень показують, що раціональним режимом при $l = 90$ мм можна вважати $v_p = 4,5 \dots 6 \text{ м/с}$, коли N_{nut} менше 2 Вт·год./кг, а продуктивність Q становить 230 ... 260 кг/год. (рисунк 3.12).

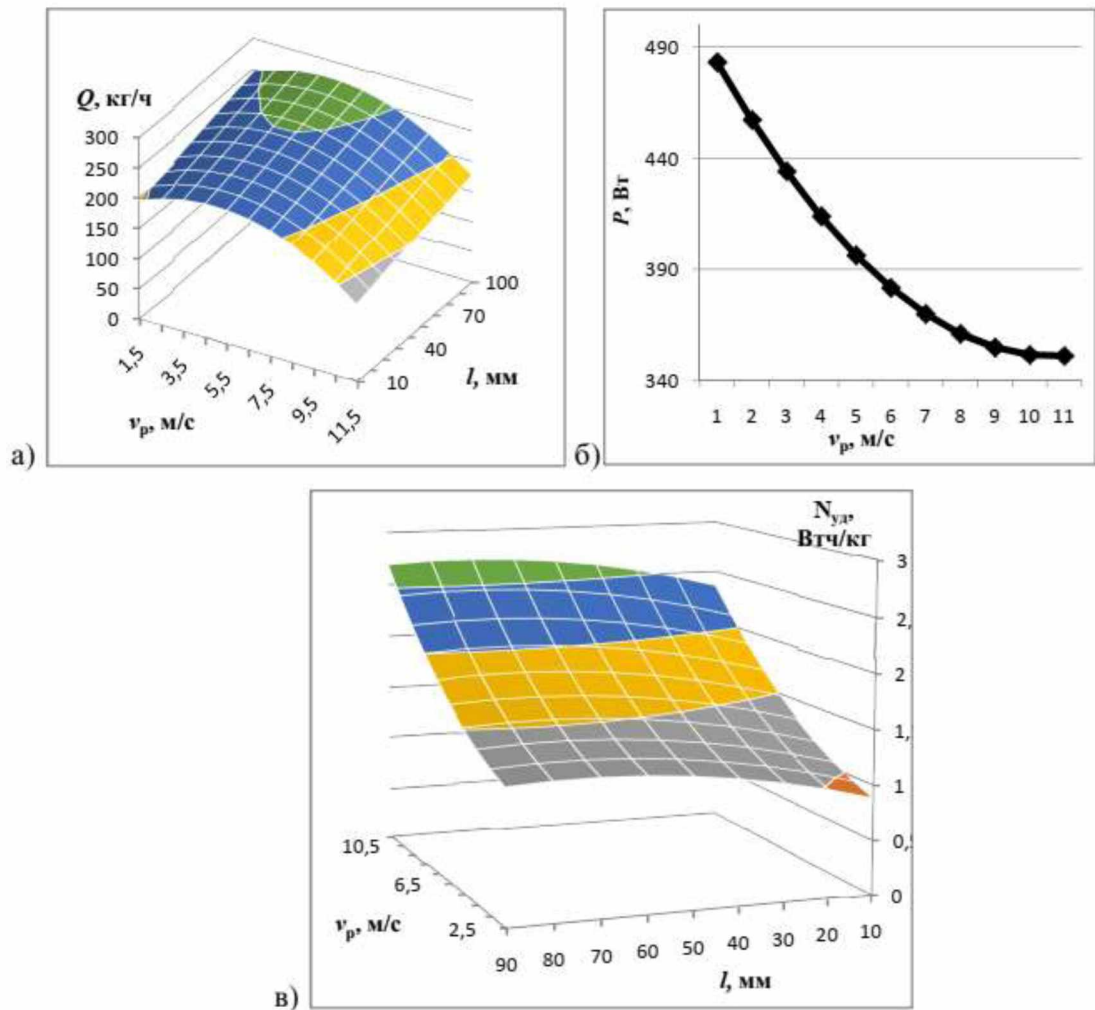


Рисунок 3.12 – Залежність продуктивності Q , кг/год. (а), потужності на подрібнення P (б) і питомої енергоємності $N_{уд}$, кВт год./кг (в) від окружної швидкості ротора v_p , м/с, і довжини ротора l , мм

Аналізуючи результати проведених експериментів і представлені поверхні відгуку розкодованих рівнянь регресії, можна встановити остаточні раціональні режими роботи горизонтальної роторної дробарки при помелі суміші зернових культур з одним протиризом $n_{н.с}$:

- грубий помел ($M = 2 \dots 3$ мм): $\delta = 0,4 \dots 0,8$ мм, $v_p = 4,5$ м/с;
- середній помел ($M = 1 \dots 2$ мм): $\delta = 0,3 \dots 0,5$ мм, $v_p = 5,2$ м/с;
- тонкий помел ($M = 0,5 \dots 1$ мм): $\delta = 0 \dots 0,2$ мм, $v_p = 6,5$ м/с.

Висновки

1. Уточнено фізико-механічні властивості зернових матеріалів при вологості не вище 14,5% і коефіцієнті варіації $V = 8 \dots 26\%$. встановлені найбільш раціональні режими роботи горизонтальної роторної дробарки для різних помолів:

- грубий помел ($M = 2 \dots 3$ мм): $\delta = 0,4 \dots 0,8$ мм, $v_p = 4,5$ м/с;
- середній помел ($M = 1 \dots 2$ мм): $\delta = 0,3 \dots 0,5$ мм, $v_p = 5,2$ м/с;
- тонкий помел ($M = 0,5 \dots 1$ мм): $\delta = 0 \dots 0,2$ мм, $v_p = 6,5$ м/с.

2. При роздільному подрібненні (середній помел) зернового матеріалу (пшениця, ячмінь, овес, кукурудза) в горизонтальній роторній дробарці фракція з частинками необхідного розміру склала 91 ... 98%, що відповідає фактичній результативності процесу $\Phi_{pn} = 9,2 \dots 61,5$, при продуктивності $Q = 97 \dots 267$ кг/год., $N_{nut} = 1,3 \dots 2$ Вт·год./кг.

РОЗДІЛ 4

РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ РОЗРОБОК

4.1. Екологічна експертиза

Екологічна експертиза в Україні – вид науково-практичної діяльності спеціально уповноважених державних органів, еколого-експертних формувань та об'єднань громадян, що ґрунтується на міжгалузевому екологічному дослідженні, аналізі та оцінці передпроектних, проектних та інших матеріалів чи об'єктів, реалізація і дія яких може негативно впливати або впливає на стан навколишнього природного середовища та здоров'я людей, і спрямована на підготовку висновків про відповідність запланованої чи здійснюваної діяльності нормам і вимогам законодавства про охорону навколишнього природного середовища, раціональне використання й відтворення природних ресурсів, забезпечення екологічної безпеки.

Метою екологічної експертизи є запобігання негативному впливу антропогенної діяльності на стан навколишнього природного середовища та здоров'я людей, а також оцінка ступеня екологічної безпеки господарської діяльності та екологічної ситуації на окремих територіях і об'єктах.

Об'єкти, суб'єкти, види екологічної експертизи висвітленні у законі України «Про екологічну експертизу» (9.02.1995р.).

Екологічна експертиза може бути державна, громадська та інша.

Державна екологічна експертиза проводиться експертними підрозділами чи спеціально створюваними комісіями спеціально уповноваженого центрального органу виконавчої влади з питань екології та природних ресурсів та його органів на місцях на основі принципів законності, наукової обґрунтованості, комплексності, незалежності, гласності та довгострокового прогнозування.

Для участі в проведенні державної екологічної експертизи можуть залучатися відповідні органи державного управління України, представники науково-дослідних, проєктно-конструкторських, інших установ та організацій, вищих навчальних закладів, громадськості, експерти міжнародних організацій.

Висновок державної екологічної експертизи після затвердження спеціально уповноваженим центральним органом виконавчої влади з питань екології та природних ресурсів є обов'язковим для виконання.

Позитивний висновок державної екологічної експертизи є підставою для відкриття фінансування всіх програм і проєктів.

Реалізація програм, проєктів і рішень без позитивного висновку державної екологічної експертизи забороняється.

Громадська екологічна експертиза здійснюється незалежними групами спеціалістів з ініціативи громадських об'єднань, а також місцевих органів влади за рахунок їх власних коштів або на громадських засадах.

Громадська екологічна експертиза проводиться незалежно від державної екологічної експертизи.

Висновки громадської екологічної експертизи можуть враховуватися органами, які здійснюють державну екологічну експертизу, а також органами, що заінтересовані у реалізації проєктних рішень або експлуатують відповідний об'єкт.

Інші екологічні експертизи можуть здійснюватися за ініціативою заінтересованих юридичних і фізичних осіб на договірній основі із спеціалізованими еколого-експертними органами і формуваннями.

Завданням екологічної експертизи є:

а) визначення екологічної безпеки господарювання та іншої діяльності, яка може нині або в майбутньому прямо або посередньо негативно вплинути на стан навколишнього середовища;

б) встановлення відповідності передпроектних, передпланових, проектних та інших рішень вимогам законодавства про охорону навколишнього середовища;

в) оцінка повноти й обґрунтованості передбачуваних заходів щодо охорони навколишнього природного середовища та здоров'я населення, яка здійснюється Міністерством охорони навколишнього природного середовища разом із Міністерством охорони здоров'я України..

4.2. Охорона праці

Охорона праці в нашій країні охоплює заходи по подальшому полегшенні 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.

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.

Кожна людина і, безперечно, людина з вищою освітою повинна усвідомлювати важливість питань уникнення ризиків у житті та праці.

Україна в освітньому плані приєдналася до Європейської програми навчання з ризиків FORM-OSE. Безпека життя та праці сьогодні формується як меганаука, без якої людство приречене на значні втрати.

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. Вони характеризуються оціночними показниками мікроклімату, наявністю в робочій зоні шкідливих та небезпечних виробничих факторів, психофізичним та естетичними елементами діяльності працівників господарства.

Охорона життя та здоров'я громадян у процесі їх трудової діяльності, створення безпечних та нешкідливих умов праці є одним з найважливіших державних завдань. Успішне вирішення цього завдання значною мірою залежить від належної підготовки фахівців усіх освітньо-кваліфікаційних рівнів з питань охорони праці.

З часу виникнення людської цивілізації кожна людина дбала про власну безпеку та безпеку своїх близьких так само, як і людству доводилось дбати про безпеку свого існування. Людська цивілізація досягає все більшої могутності, а проблема безпеки її існування стає все більш гострою. Актуальність проблеми охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях в світі значно зросла на початку третього тисячоліття. Сьогодні ця проблема стала пріоритетною для світової цивілізації.

Основними технічними засобами охорони праці є захисні пристрої.

Для запобігання захоплення, удару робочими механізмами всі види передач різних верстатів і установок, які використовуються при відновленні гільз і нанесенні покриттів повинні мати огорожувальні пристрої - кожухи, щити, екрани, козирки, планки, бар'єри (суцільні та сітчасті).

Крім того застосовують: блокувальні пристрої (механічні, електронні, електричні, пневматичні, гідравлічні), пристрої, до яких відносяться системи захисту від ураження електричним струмом, пристрої сигналізації.

Для безпеки експлуатації при нормальному режимі роботи електроустановок необхідно забезпечити захисне заземлення.

При виявленні нагріву тертьових деталей, появі гару або диму верстат потрібно негайно зупинити і приступити до гасіння пожежі наявними засобами, викликати пожежну команду. Двигун, що загорівся, або

електропроводку необхідно гасити сухим піском або вогнегасником (вуглекислотним або порошковим). При значному поширенні пожежі, коли його не можна ліквідувати наявними на ділянці засобами, робітники будуть евакуюватися через заздалегідь передбачену необхідну кількість дверей.

Робота з речовинами створює небезпеку отруєнь, опіків та професійних захворювань. Вдихання шкідливих речовин призводить до ураження верхніх дихальних шляхів і загальнотоксичного впливу. Попадання кислот і лугів на шкіру може викликати подразнення або опік. Тому необхідно працювати в спеціальній захисній формі.

Поряд з хімічними небезпечними і шкідливими факторами технологічний процес характеризується і фізичними факторами: шумом, вібрацією, запиленістю та ін.

Щоб захистити працюючих від запиленості, шуму і вібрації потрібно встановити в приміщенні вентиляцію, кондиціонери, звукоізолюючі кожухи, екрани, стіни, перетинки, які виготовляють із щільного матеріалу.

Також для працівників повинні проводитись всі потрібні інструктажі і навчання з охорони праці, повинен бути журнал з проведення інструктажів, з відповідними замітками.

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

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

- 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 парці, та інші.

У розділі охорони праці представлений аналіз загальних питань охорони праці, розглянуто основні шкідливі фактори, що виникають в під час технологічного процесу та їх вплив на організм людини, запропоновано заходи для забезпечення нормальних умов праці:

- 1) для забезпечення безпеки обладнання запропоновані захисні і огорожувальні пристрої;
- 2) для виключення ураження електричним струмом необхідно застосування заземлюючих пристроїв;
- 3) для захисту від небезпечних хімічних речовин – використання спеціального захисного одягу;
- 4) для зменшення запиленості – використання вентиляції, для зменшення шуму і вібрацій – звукоізолюючі засоби.

4.3. Техніко-економічне обґрунтування розробок

Основними показниками ефективності при порівняльній економічній оцінці є річний економічний ефект і термін окупності додаткових капітальних вкладень. Для розрахунку використовувалися вихідні дані (таблиця 4.1).

Таблиця 4.1 – Зведені вихідні дані порівнюваних дробарок

Показники	Варіант		Різниця з базовим варіантом, %
	Базовий	Проект	
Вміст фракції до 0,2 мм, %	17,5	3,9	-78%
Витрати на отримання необхідного продукту, грн./т	4232	1219	-71%
Загальні питомі енерговитрати, кВт·год/т	7,6	2,96	-58%
Середня тривалість, т/год.	0,15	0,24	60%
Максимальна вартість дробарки, грн.	6900	7100	3%
Привідна потужність, кВт	1,35	0,8	-41%

Абсолютні економічні показники роботи серійної молоткової дробарки і горизонтальної роторної дробарки пропонованої конструкції визначені з розрахунку на потребу в подрібненому зерні необхідної крупності і встановленому ступеню подрібнення (модуля помелу) 30 т/рік.

Сукупні витрати грошових коштів на тонну одержуваного зернового продукту $B_{с.з.}$ (грн./т) обчислювали за формулою:

$$B_{с.з.} = B + B_{к.п.} + B_{у.п.}, \quad (4.1)$$

де B – прямі експлуатаційні витрати грошових коштів, грн./т;

$B_{к.п.}$ – витрати коштів, що враховують зміну кількості і якості продукції, грн./т;

$B_{у.п.}$ – витрати коштів, що враховують рівень умов праці обслуговуючого персоналу, грн./т.

Витрати коштів, що враховують зміну кількості і якості на тонну продукції розрахуємо за формулою:

$$B_{к.п.} = \frac{C_з \cdot K_{мл}}{B_{вир}}, \quad (4.2)$$

де $C_з$ – вартість зернового матеріалу, грн./т;

$K_{мл}$ – коефіцієнт, що враховує втрати кінцевого продукту, виходячи з кількості пилоподібної фракції;

$B_{вир}$ – вирівняність подрібненого продукту, виходячи з наявності в готовому продукті неподрібнених і переподрібнених частинок.

Прямі експлуатаційні витрати грошових коштів B обчислюються за формулою:

$$B = З + Г + Р + А + \Phi, \quad (4.3)$$

де $З$ – витрати на оплату праці обслуговуючого персоналу, грн.;

$Г$ – витрати коштів на мастильні матеріали та електроенергію, грн.;

P – витрати коштів на ремонт і технічне обслуговування, грн.;

A – витрати коштів на амортизацію, грн.;

Π – витрати коштів на покупку зернових матеріалів, грн.

Для оцінки порівняльної економічної ефективності визначимо річну економію сукупних витрат грошових коштів від експлуатації роторного дробарки E_P грн., яку розраховують за формулою:

$$E_P = T_{\text{пор}} (B_{\text{с.в.б.}} - B_{\text{с.в.н.}}), \quad (4.4)$$

де $T_{\text{пор}}$ – обсяг робіт з подрібнення за рік, т;

$B_{\text{с.в.б.}}$, $B_{\text{с.в.н.}}$ – сукупні витрати грошових коштів за базовою і новою дробаркою, грн./т;

Тоді термін окупності додаткових капітальних вкладень по спеціалізованій новій техніці $T_{\text{ок}}$ років обчислимо за формулою:

$$T_{\text{ок}} = \frac{B_H - B_B}{E_P}, \quad (4.5)$$

де B_H , B_B – ціна нової, базової техніки (без торгової націнки) відповідно з урахуванням витрат на доставку та монтаж, грн.

Результати економічного порівняння занесені в таблицю 4.2.

Таблиця 4.2 – Результати економічної ефективності від впровадження пропонованої роторної дробарки

Показники	Варіант		Різниця з базовим варіантом, %
	Базовий	Проект	
Витрати на оплату праці $З$, грн./т	1500	1088	-27%
Витрати на електроенергію Γ , грн./т	35	25,4	-27%
Витрати на ремонт та ТО, P , грн./т	226,3	274,5	21%
Витрати на амортизацію A , грн./т	256,4	269,8	5%
Витрати засобів, що враховують зміну кількості та якості продукції, грн./т	4232	1219	-71%
Економія сукупних витрат, грн./год	165780		-
Строк окупності капітальних вкладень, роки	0,1		-

Розрахунками підтверджена ефективність застосування розробленої горизонтальної роторної дробарки при подрібненні зернових матеріалів: знижуються експлуатаційні витрати на 28%, питомі енерговитрати на 58%, загальна річна економія сукупних витрат грошових коштів дорівнює 165 780 грн.

Висновки

Проведена екологічна експертиза свідчить, що запропонована конструкція подрібнювача зерна для отримання комбікорму є безпечною для навколишнього середовища.

Виконано аналіз умов виникнення і розвитку травм і аварій, для їх усунення запропоновані наступні заходи: встановлення захисних щитків, блокуючих приладів, заземлення при роботі з металообробними верстатами, використання спецодягу для приготування технологічних розчинів, проведення регулярних інструктажів з техніки безпеки.

Річний економічний ефект від впровадження подрібнювача склав 165 780 грн., термін окупності інвестицій – до двох місяців.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Основними напрямками вдосконалення процесу подрібнення кормового зерна є вдосконалення існуючих технологічних схем подрібнення за рахунок використання менш енергоємних способів поділу матеріалу на частини, зниження тривалості впливу на подрібнюваний продукт при дробленні і досягнення вирівненості відповідно до зоотехнічних вимог розміру часток готового продукту.

2. Уточнено фізико-механічні властивості зернових матеріалів при вологості не вище 14,5% і коефіцієнті варіації $V = 8 \dots 26\%$. Встановлені найбільш раціональні режими роботи горизонтальної роторної дробарки для різних помолів:

- грубий помел ($M = 2 \dots 3$ мм): $\delta = 0,4 \dots 0,8$ мм, $v_p = 4,5$ м/с;
- середній помел ($M = 1 \dots 2$ мм): $\delta = 0,3 \dots 0,5$ мм, $v_p = 5,2$ м/с;
- тонкий помел ($M = 0,5 \dots 1$ мм): $\delta = 0 \dots 0,2$ мм, $v_p = 6,5$ м/с.

3. При роздільному подрібненні (середній помел) зернового матеріалу (пшениця, ячмінь, овес, кукурудза) в горизонтальній роторній дробарці фракція з частинками необхідного розміру склала 91 ... 98%, що відповідає фактичній результативності процесу $\Phi_{pn} = 9,2 \dots 61,5$, при продуктивності $Q = 97 \dots 267$ кг/год., $N_{nut} = 1,3 \dots 2$ Вт год./кг.

4. Розрахунками підтверджено ефективність застосування горизонтальної роторної дробарки при подрібненні зернових матеріалів: знижуються експлуатаційні витрати на 28%, питомі енерговитрати на 58%, загальна річна економія сукупних витрат грошових коштів становить 165 780 грн.