

ПОЛТАВСЬКА ДЕРЖАВНА АГРАРНА АКАДЕМІЯ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра технологій та обладнання переробних і харчових виробництв

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

на тему: «Підвищення ефективності диспергування зерна з використанням нелінійних ріжучих елементів»

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 ___
КОРОБКА О. О.
Прізвище та ініціали студента
Керівник: ІВАНОВ О. М.
Прізвище та ініціали керівника
Рецензент: ІВАНКОВА О. В.
Прізвище та ініціали рецензента

Полтава – 2021 року

ВСТУП

Актуальність. Сьогодні найбільш поширені дробарки молоткового типу, що працюють за принципом удару «вліт». Технологія відома давно і використовується активно у багатьох країнах. Машини молоткового типу зручні, прості у користуванні, багато хто з них легко піддається ремонту. Вивченню процесів подрібнення у дробарках молоткового типу присвячено чимало наукових праць як вітчизняних, і зарубіжних учених. Молоткові дробарки постійно вдосконалюються [4,6,11].

Незважаючи на всі переваги, у дробарок молоткового типу ряд суттєвих недоліків: невіривняний гранулометричний склад при різних модулях помелу, різна кількість пилоподібної фракції; при тонкому помелі - до 30% пилоподібної фракції, а при грубому кінцевому продукті помелу - до 20% неподрібненого зерна. Переподрібнення веде до невиправданих витрат електроенергії; дробарки молоткового типу в середньому витрачають 10 - 15 кВт · год на 1 т подрібненого зерна, крім того, зайва кількість борошністої фракції може призводити до захворювань травного тракту тварин [20].

На даному етапі розвитку техніки в галузі подрібнення кормових культур проблема створення енергоресурсозберігаючих машин, що працюють за принципом «зріз сколюванням» і дозволяють отримати продукт помелу, що відповідає зоотехнічним вимогам, залишається актуальною. У зв'язку з тенденцією зменшення поголів'я худоби на приватних подвір'ях, пов'язаних з дорожнечею кормів, важливим є питання розробки малогабаритних подрібнювачів.

Такі вчені, як П.І. Леонтєв, Н.С. Сергєєв, У.К. Сабієв, І.Б. Шагдиров, І.Я. Федоренко та ін., займалися вивченням подрібнювачів відцентрово-роторного типу, що застосовуються на виробництві. Вони відрізняються від подрібнювачів молоткового типу тим, що процес подрібнення здійснюється способом «зріз сколюванням», це найбільш вигідний спосіб руйнування зернових культур, наприклад, ріпаку. Дозволяє отримати продукт помелу, що відповідає зоотехнічним вимогам, при цьому витрати енергії на подрібнення не перевищують витрати енергії порівняно із застосуванням технічних засобів молоткового типу, призначених для

подрібнення кормів [21-24]. З вищесказаного випливає, що удосконалення робочих органів вже існуючих знарядь, взяте за основу розробки конструкторсько-технічної документації, що включає конструктивну схему відцентрово-роторного подрібнювача, що працює за принципом «зрізу сколювання», є актуальним завданням. Подрібнювач, який дозволить обробляти різні кормові культури з можливістю отримання продукту помелу із заданим гранулометричним складом та відповідного зоотехнічним вимогам, здатний вирішити низку проблем. Відбувається зниження енерговитрат на подрібнення до двох разів у порівнянні з дробарками молоткового типу – це важливо для сільгоспвиробника.

Мета дослідження – підвищення ефективності змішування концентрованих кормів.

У відповідності до мети в роботі вирішувались наступні завдання:

- обґрунтувати основні конструктивні параметри процесу подрібнення, встановити форму та розміри ріжучої кромки кільцевих виступів.
- дати оцінку ефективності основних результатів досліджень;
- надати оцінку рівня потенціального небезпеки для природного навколишнього середовища та провести аналіз потенціальним можливостям виникнення аварійнонебезпечним ситуаціям при використанні нового технологічного засобу;
- оцінити економічну ефективність використання розробленого подрібнювача зерна.

Об'єкт дослідження – технологічний процес руйнування зерна з використанням робочих органів з ріжучими елементами криволінійної форми в подрібнювачі відцентрово-роторної дії.

Предмет дослідження – закономірності процесу руйнування зерна в подрібнювачі відцентрово роторної дії, що характеризують руйнування зерна способом «зріз сколюванням».

Методика досліджень. Постановку експериментальних досліджень проводили відповідно до чинних стандартів і розроблених індивідуальних методик.

Обробка результатів досліджень проводилася за допомогою ПК та використанням програмних продуктів: табличного процесора Microsoft Excel, математичного редактора STATISTICS.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному:

1. Отримані апроксимовані рівняння, що відображають функціональний зв'язок між визначальними показниками роботи подрібнювача – потужності та продуктивності – від визначних факторів: середній розмір часток культури, кут нахилу дотичної до кривої в одній точці та діаметр, що утворює циклоїду.

2. Графоаналітичне залежності ключових показників роботи подрібнювача від варіативної зміни визначальних факторів.

Практичне значення одержаних результатів полягає у:

– запропонованій технологічній схемі подрібнювача зерна з ріжучими елементами криволінійної форми;

– обґрунтовані конструктивно-режимних параметрів подрібнювача зерна.

1 СТАН ДОСЛІДЖУВАНОВОГО ПИТАННЯ ТА ВИБІР НАПРЯМУ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Поширені способи подрібнення зерна та основні засоби для подрібнення зернових матеріалів

В даний час існує безліч видів кормів, кожен спрямований на задоволення потреб організмів різних видів, порід та вікових груп тварин. Це допомогло створенню безліч способів обробки зерна.

За видами обробки кормових матеріалів способи можна поділити: на тепловий, механічний, хімічний, біологічний та біохімічний. У зв'язку з вищевикладеним можна дійти невтішного висновку: вид обробки різних матеріалів шляхом механічного впливу з допомогою інструмента чи робочого органу належить до обробки з допомогою механічної технології [15].

Подрібнення – це поділ матеріалу на частинки необхідного розміру із заданими параметрами. Процес подрібнення відбувається за рахунок застосування до матеріалу руйнівних сил, зокрема, механічного впливу (рис. 1.1). В результаті прикладених до зернівки сил накопичуються напруга, що перевищують сили молекулярного зчеплення, відбувається руйнування матеріалу [6].

У.К. Сабієв розглядає можливість руйнування зерна у спосіб защемленого удару. Даний вид подрібнення може проводитися при дії на матеріал як одним робочим органом (лезом), так і кількома. Руйнування відбувається за рахунок надрізу концентратора напруг найважче подрібнюваної частини зернівки [29].

С.В. Золотарьов також описує концепцію руйнування зерна ударом по зернівці лезом при подрібненні фуражного зерна [18].

А.Р. Демидов основним для подрібнення вважає спосіб руйнування ударом "вліт" (подрібнення в молоткових дробарках) [6]. Найбільш поширеними видами подрібнення зерна є наступні.

Подрібнення ударом. Один з найпоширеніших видів подрібнення. Мається на увазі вплив робочого органу на зернівку. При цьому способі подрібнення переважає руйнування ударом. Поділяють його на руйнування вільним ударом і стиснутим.

Руйнування при вільному ударі залежить від швидкості руху «молотка». При стисненому ударі матеріал руйнується між двома робочими органами.

Подрібнення матеріалу за допомогою стирання. Спосіб відомий з давніх часів. Подрібнення стиранням відбувається за рахунок виникнення сил тертя під певним тиском на зерно робочими органами подрібнювального пристрою та поступальних рухів робочих органів.

Роздавлювання чи плющення. При роздавлюванні відбуваються об'ємні руйнування матеріалу, що обробляється за рахунок перевищення внутрішніх напруг над зовнішніми.

Різання. Спосіб руйнування, який полягає у поділі матеріалу на частини заздалегідь заданими параметрами форми та розмірів. У цьому процесі різання можна повністю управляти.

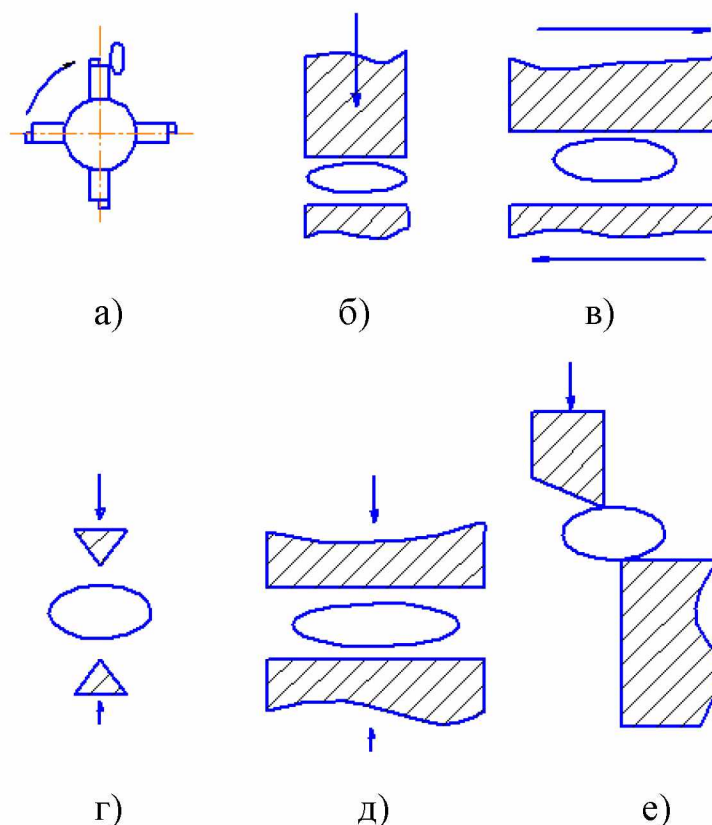


Рисунок 1.1 – Схеми способів подрібнення: а – вільний удар; б – стиснутий удар; в – стирання; г - сколювання; д - роздавлювання; е – різання

Вибір способу подрібнення залежить від фізико-механічних властивостей матеріалу, що подрібнюється, а також обумовлений вимогами до кінцевого продукту подрібнення. Однак, цього не можна сказати про подрібнення зернового матеріалу.

Зерно за своєю природою є аморфною речовиною. Зернівка складається з різних частин. У кожній частині свої фізико-механічні властивості, що робить процес подрібнення зерна скрутним. Застосовувані машини подрібнення зернових матеріалів поєднують одночасно кілька способів.

У кожній машині способи подрібнення комбінуються з великою кількістю інших технічних підходів до подрібнення[17].

На даному етапі розвитку машин та агрегатів для подрібнення зернових матеріалів існує безліч механічних пристроїв, що подрібнюють зернові культури. Ці пристрої можна поділити на основні види машин.

Жорновий млин. Відомі з давніх часів. Принцип дії мало змінився початку їх використання. Жорнові млини працюють за принципом стиснення та зсуву. Цей спосіб застосовується для обробки сухих неолійних культур. Як правило, робочими органами є два плоскі жорна. Зерно подрібнюється між жорнами за рахунок обертання одного із робочих органів.

Вальцові верстати. Призначені для розмелювання зернових культур. Основний компонент верстата – система валів. Працюють за способом сколювання та зсуву. Робочі органи вальцових верстатів – рифлені вальці. Повертаються з різними або однаковими окружними швидкостями або один із робочих органів рухливий, а інший – нерухомий.

1.2 Процеси подрібнення та фактори, що на них впливають

У дроблення та подрібнення немає значних відмінностей. Умовно прийнято вважати, що при дробленні одержують частинки, що мають розмір понад 5 мм, а при подрібненні – менше 5 мм [21].

Більшість дослідників, які займалися проблемами подрібнення зернових матеріалів, головною під час подрібнення вважали проблему руйнування зернівки та розглядали її як найбільш значущу. Оцінка співвідношення енергетичних витрат та

кількості одержуваного продукту була головною метою дослідників. На другий план йшли проблеми отримання якісного продукту помелу, що відповідає зоотехнічним вимогам.

Процес подрібнення у молотковій дробарці – складний. На нього впливає велика кількість різних факторів, перерахуємо основні:

- окружна швидкість молотків;
- фізико-механічні властивості сировини (вологість та структурні якості);
- розмір отворів сит;
- відстань між молотками та ситом;
- товщина, маса та форма молотків;
- спосіб видалення продукту помелу з області подрібнення [9].

Я.М. Купріц, вивчаючи вплив вологості на подрібнення, встановив, що виведення певного класу фракцій залежить від вологості зерна.

Підвищення вологості з 12 до 16% незначно впливає на крупність продуктів подрібнення: середній розмір частинок збільшується на 3 - 5%, а поверхня, що знову утворилася, зменшується на 5 - 7%. Зміна цих показників відбувається в основному за рахунок підвищення вмісту великої фракції [6].

Пояснюється це диференційованою дією вологи на стан частини зерна. Периферійні частини зерна, які переважають у великій фракції, під дією вологи набувають пластично-в'язких властивостей і гірше подрібнюються.

При величині вологості зерна понад 16% відзначено суттєві зміни у процесі подрібнення [6].

Від окружної швидкості молотків залежать основні технологічні параметри, щоб забезпечити ефективність роботи молоткової дробарки.

При збільшенні окружної швидкості біл збільшується ступінь подрібнення. Ця обставина пояснюється тим, що під дією молотків, що обертаються, продукт захоплюється в круговий обертальний рух і передрібнюється за рахунок стирання. У різних джерелах літератури, зокрема і зарубіжної, зустрічаються встановлені, рекомендовані окружні швидкості подрібнення зернового матеріалу. У деяких джерелах оптимальними вважаються швидкості в діапазоні 70 – 90 м/с, а в інших – 80

– 100 м/с. Для певної дробарки у конкретних умовах роботи є межа підвищення окружної швидкості молотків. При значеннях окружної швидкості молотків вище за граничну відбувається зниження пропускної здатності сита через зміну вітрового потоку. Це сприяє збільшенню споживання електроенергії [17,23].

Сито – один із основних робочих органів молоткової дробарки. Через отвори в ситі подрібнений продукт виводиться з області подрібнення. Найбільшого поширення набули сита двох видів: з пробивними круглими отворами та лускаті. Швидкість видалення подрібнених частинок залежить від форми та розміру отворів сит. Спостерігається розбіжність у думках дослідників щодо впливу форми отворів сит на процес виведення частинок зерна із зони подрібнення.

Зазор між молотками і ситом – фактор, що значно впливає на фракційний склад готового продукту помелу. За підсумками досліджень, проведених Ф.Г. Плоховим та Г.І. Шуб були винесені пропозиції про збільшення зазору від 12 до 30 мм з одночасним збільшенням окружної швидкості від 80 до 100 м/с. У молоткових дробарках зарубіжних конструкцій зазор між молотками та ситом становить 6 – 30 мм [18].

Залежно від подрібнюваного матеріалу та модуля помелу, а також зоотехнічних вимог використовують різні за формою, масою та розміром молотки.

Їх товщина впливає на гранулометричний склад залежно від анізотропних властивостей оброблюваного матеріалу. Для подрібнення зернових матеріалів рекомендують молотки товщиною 2 – 5 мм. З тонкими молотками процес протікає ефективніше, оскільки, крім деформації стискування, виникає деформація зрізу. Для товстих молотків характерні лише деформації стискування [23].

Дослідження багатьох вчених показують, що при одних і тих самих окружних швидкостях і однакових розмірах отворів сит, але з меншою кількістю молотків знижується вміст пилоподібної фракції.

Необхідність використання повітряного потоку доведена багатьма дослідниками, які вважають, що відсмоктування повітря з дробильної камери збільшує пропускну спроможність сита [21,29].

Підвищення продуктивності молоткової дробарки за рахунок збільшення потужності приводу і швидкісних режимів роботи призводить до небажаних дій, наприклад, до підвищення віброактивності, передчасного зносу підшипникових опор, витрати робочого часу на простой [29].

На комбікормових підприємствах та технологічних лініях кормоцехів продуктивність розмелювання зерна часто підвищують за рахунок збільшення потужності молоткових дробарок, а не за допомогою змін технологічних схем самого процесу подрібнення [6].

Зростання продуктивності дробарки не супроводжується поліпшенням якісних показників одержуваного продукту. Одним із критеріїв оцінки якості подрібнення зерна вважається однорідність фракційного складу частинок найкращого засвоєння корму в організмі тварин.

Молоткові дробарки, що використовуються на виробництвах, при подрібненні ячменю на решітках з діаметром отворів 4 мм витрачають близько 35...45 кДж/кг (9,72 ... 12,5 кВт·год/т) електричної енергії. Аналіз розмольних характеристик продукту подрібнення на різних молоткових дробарках з решітним способом регулювання модуля помелу за останні 20 років показав, що коефіцієнт оптимізації різний.

Пояснюється це тим, що зазначені дробарки мають один і той самий недолік, а саме, наявність на решітній поверхні киплячого кільцевого шару подрібнюваного продукту, який перешкоджає вільному виходу частинок зерна, подрібнених до потрібного розміру.

Крім того, у дробарок з решітним способом подрібнення жорсткі обмеження отримання заданого модуля помелу. Це означає, що не можна встановити потрібний показник якості продукту помелу.

Багато дослідників займалися пошуком шляхів підвищення ефективності дробарок [6,8,17], але конструкції безрешітної дробарки так і не були запропоновані жодним із дослідників. Немає теоретичних передумов для створення безрешітного подрібнювача матеріалів.

1.3 Основні фактори, що впливають на показники робочого процесу відцентрово-роторних апаратів

У багатьох країнах для інтенсифікації процесу подрібнення продуктів широко застосовують у будівельній, борошномельній та харчовій промисловості машини відцентрово-ударної дії. Робочими органами служать два сталевих диски (ротора), закріплені на горизонтальних або вертикальних валах розташованих співвісно і обертаються в різні боки [18]. Подрібнюючими органами такої машини є циліндричні штифти із загальним центром, що збігаються з віссю валу. Штифти розташовані по діаметрах кіл на рівному видаленні один від одного, кожен зі штифтів встає між двома штифтами другого диска. Подрібнений матеріал подається до приймальної камери до центру дисків (роторів), приймальний пристрій на одному з дисків (роторів) рівномірно розподіляє його по робочій поверхні в радіальному напрямку. Частинки перед тим, як пройти до периферії через ряди штифтів повинні роздробитися. Це відбувається завдяки неодноразовому їх зіткненню зі штифтами в межах кожної зони подрібнення, утвореної двома суміжними рядами штифтів, що рухаються назустріч один одному.

Дрібні частинки мають можливість безперешкодно проходити наступну зону подрібнення, а більші, навпаки, піддаються подрібненню з боку робочих органів. Крок штифтів кожного ряду різний і зменшується з наближенням периферії. Завдяки цьому, а також збільшенню окружної швидкості у віддалених від центру зонах процес подрібнення послідовно інтенсифікується. Є дезінтегратори з одним ротором, що обертається – дисмембратори. Робочим органом даної машини є подрібнюючий диск із встановленими на ньому пальцями.

У дослідженнях А.Ф. Немінного кращі показники за величиною подрібнення борошна, його якості та питомих енерговитрат досягаються при підвищенні швидкості дезінтегрування приблизно до 150 м/с. Отримане борошно відрізняється високим ступенем подрібнення (тонкий помел), іноді перевершуючи вимоги до борошна для хлібобулочних виробів. Найкраща якість борошна досягалася за окружної швидкості 129,4 м/с по зовнішньому ряду пальців. Дезінтегратор мав сім

рядів пальців довжиною 40 мм і діаметром 20 мм, закріплених у двох дисках, що обертаються назустріч один одному, їх загальній кількості 134. При цій же окружній швидкості вилучення борошна в дезінтеграторі було в 1,5 – 2,0 рази більше в порівнянні з вилученням у вальцьових верстатах відповідних розмольних систем на млині. Однак витрата енергії в дезінтеграторі, віднесена до однієї тони виробленого борошна, була більш ніж удвічі вищою порівняно з витратами енергії у вальцьових верстатах розмольних систем на млинах сортового помелу. Так, у серії дослідів подрібнення на 1 т виробленого борошна відповідно становив 190; 140; 90; кВт·год [30].

Питанням розмелювання в дезінтеграторах займався І.А. Хінт. У 1950 році, провівши досліди з розмелювання піску і вапна в дезінтеграторі, І.А. Хінт з'ясував, що при помелі досліджуваних речовин у дезінтеграторі можливе отримання силікальцитних виробів із суттєвим підвищенням міцності (до 40%). В результаті досліджень вдалося вивести формули для визначення максимальної пропускної спроможності дезінтегратора та потреби в енергії для подрібнення. Для проведення дослідів застосовувався дезінтегратор з наступними робочими параметрами: трьома колами пальців на кожному диску, що обертаються один на одного. Найбільший діаметр кола пальців (штифтів) – 650, найменший – 290 мм; відстань між колами – 36 мм; діаметр пальців – 16 мм; відстань між пальцями – 10 мм; висота пальців – 98 мм; привід здійснювався від електродвигунів загальною потужністю 750, 950, 1450 та 28 кВт.

На думку І.А. Хінта, значний вплив на енергоспоживання дезінтегратора мають такі фактори, як:

1. Поперечний переріз форми пальців дезінтегратора.
2. Твердість і вологість матеріалу, що розмелюється.

Дослідженням відцентрових дробарок ударної дії стосовно якістю технологічного процесу подрібнення фуражного зерна займався ряд вчених [6, 9, 17]. В.Д. Денисовим була розроблена відцентрова багатоступінчасте встановлення [5].

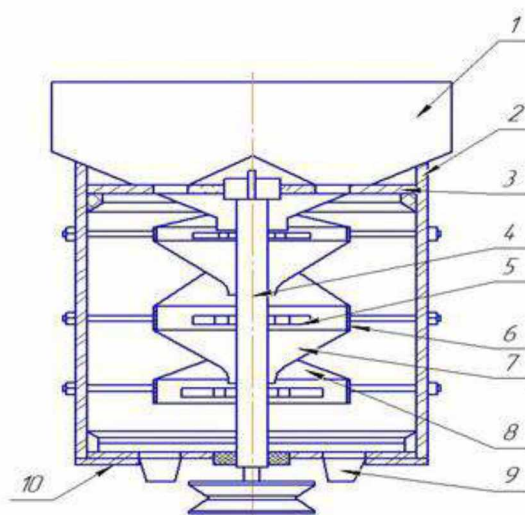


Рисунок 1.2 – Схема відцентрової багатоступінчастої дробарки зерна

Агрегат складається з завантажувального бункера 1, циліндричного корпусу 2, верхньої 3 та нижньої 10 опорних плит, вертикального валу 4, розгінних дисків 5.

Виконано розгінні диски за аналогією з робочими органами відцентрових високошвидкісних вентиляторів, а напрямні лопатки – прямолінійні під кутом до радіусу диска. Роль відбійних плит 6 виконують решета-матриці, які встановлюють проти кожного розгінного диска. Для подачі зерна на розгінні диски є корпусні лійки 7, виконані у вигляді змінних решіт. Подрібнений матеріал відводять по скатних дошках 8 відвідні патрубки 9 [7].

С.В. Золотарьовим була запропонована і досліджена ударно-відцентрова дробарка фуражного зерна з роторами, що зустрічно обертаються, із закріпленими на них плоскими робочими органами (рис. 1.3)

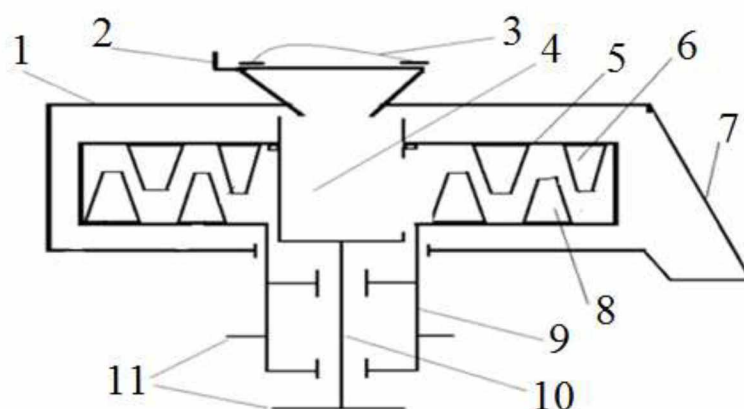


Рисунок 1.3 – Схема ударно-відцентрової дробарки фуражного зерна

Дробарка складається з деталей: корпус 1, вивантажний патрубок 10, бункер 3, робочі органи у вигляді двох зустрічно обертових дисків 4, 5 з чотирма рядами плоских подрібнюючих елементів, розташованих таким чином, що кільцеве простір між рядами подрібнювальних елементів 5, 6 входить в між першим подрібнюючим елементом та зубом 8.

Привід дробарки здійснюється від двох електродвигунів через шківи 11 за допомогою клиноременної передачі, частота обертання - 2970 хв^{-1} [18].

1.4 Огляд ріжучих елементів криволінійної форми у різних пристроях

Для більш докладного аналізу процесу різання матеріалів криволінійним лезом розглянемо виконання ріжучих кромки інструментів, що використовуються для обробки різних матеріалів.

Виконання зуба стрічкової пилки по радіусу забезпечує напрям сходу стружки і її усадку за рахунок запресування при русі в напрямку вектора сили головного різання і охоплення матеріалу, що обробляється, а також плавний різ матеріалу (рис. 1.4) [5]. Геометрія зуба змінюється від властивостей матеріалу, виконання по радіусу найбільш вигідне для м'яких матеріалів, таких як м'які породи дерева.

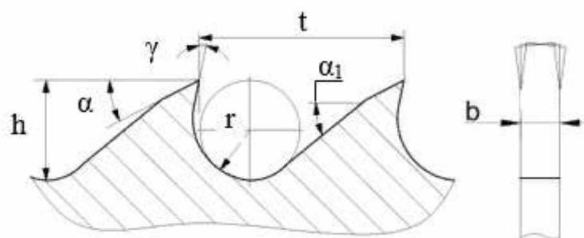


Рисунок 1.4 – Зуб стрічкової пилки: γ – передній кут, α – головний задній кут, α_1 – допоміжний задній кут, r – радіус міжзубної западини, t – крок зубів, h – висота зуба, b – товщина полотна (параметри формують форму зуба та міжзубної западини)

На рисунку 1.5, а показано схему сил, що діють на свердло в процесі роботи. На кожну ріжучу кромку свердла діє рівнодіюча сил опору P , прикладена в певній точці A ; на поперечну кромку діє сила $P_{\text{п}}$, спрямована вгору, вздовж осі X , і пара сил, що лежить у площині, перпендикулярної до осі свердла, на кожну стрічку діє сила P_1 , спрямована по осі Z перпендикулярно до площини креслення, і сила тертя стрічки про оброблену поверхню $P_{\text{т}}$, спрямована вздовж осі X . Для вивчення впливу рівнодіючої

сили опору P розкладаємо її на три складові P_x , P_y та P_z , спрямовані відповідно до осей X , Y та Z . Рівнодійна сила P_0 , звана силою подачі, дорівнює сумі проєкцій сил, що діють уздовж осі X , тобто на рисунку 1.5б представлена геометрія робочої поверхні ріжучої кромки гвинтової канавки свердла. При виконанні ріжучої кромки гвинтової канавки у формі дуги з одним або двома радіусами кожна точка леза має власну окружну швидкість; внаслідок цього рух сколювання стружки відбувається не одночасно по довжині леза, чим і пояснюється відсутність тремтіння леза при свердлінні. Сила P спрямована перпендикулярно радіусу обертання ножа; складається з нормальної (P_n) та дотичної (тангенціальної P_t) складових. Співвідношення цих двох сил залежить від кута між дотичною в даній точці леза і радіусом обертання ножа [5].

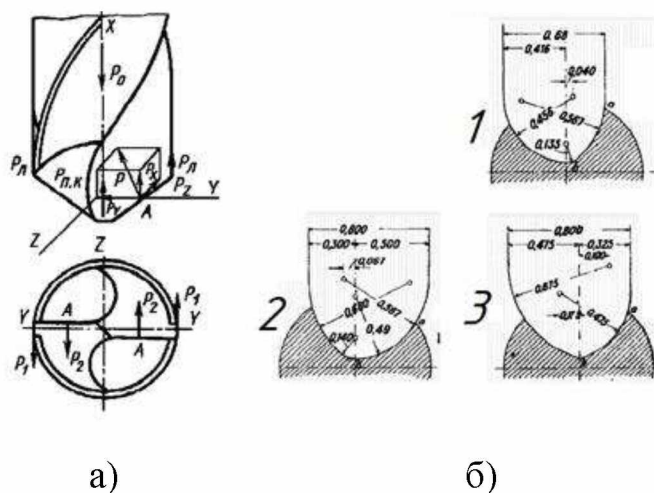


Рисунок 1.5 – Схема сил, що діють на ріжучу кромку свердла: а – схема сил, що діють на свердло; б – геометрія робочої поверхні ріжучої кромки гвинтової канавки свердла

Для подрібнення м'яса у промислових масштабах широко використовуються машини, робочими органами яких є куттерні ножі, що мають криволінійну геометрію леза. Схеми найбільш поширених ножів представлені на рисунку 1.6.

Залежно від матеріалу геометрія леза має забезпечувати переважання нормальної чи дотичної сил різання. Подрібнення більш м'якого матеріалу відповідає R1, а грубіші частини краще подрібнюються в точці, що знаходиться на R2 (рис. 1.6).

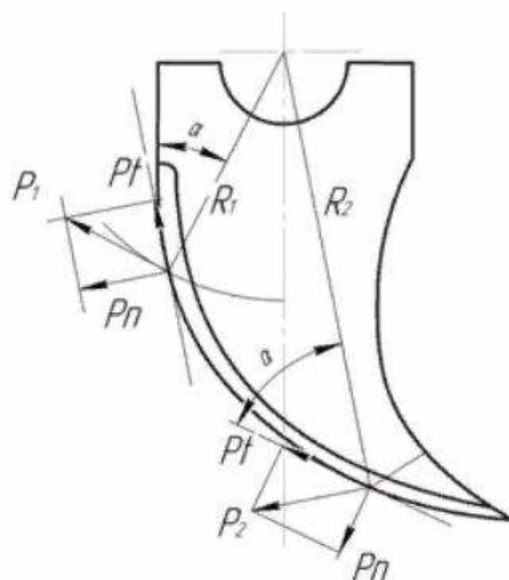
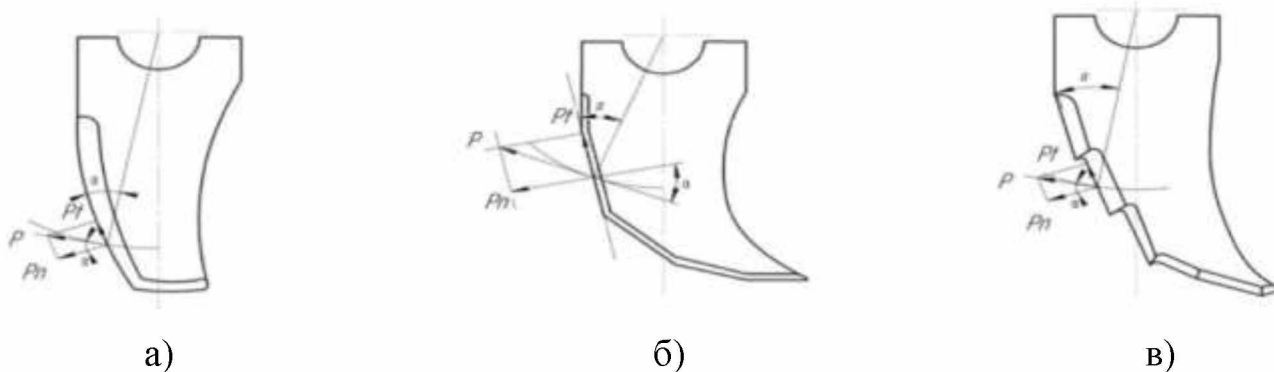


Рисунок 1.6 – Схема сил куттерного ножа з лінією різання другого порядку



а - лезо з переважною нормальною силою різання, застосовується для обробки однорідних матеріалів; б – лезо з нормальною та дотичною складовими силами різання – для обробки матеріалів з неоднорідними властивостями; в – ніж із зубчастою поверхнею – для різання важкообробних матеріалів із пластичними властивостями

Рисунок 1.14 – Геометрія поширених куттерних ножів:

На прикладі роботи секатора видно взаємозв'язок геометричних параметрів лезової пари.

Залежно від твердості та товщини гілки різання відбувається на певній ділянці леза, що знаходиться мимоволі за рахунок геометричних параметрів лезової пари секатора.

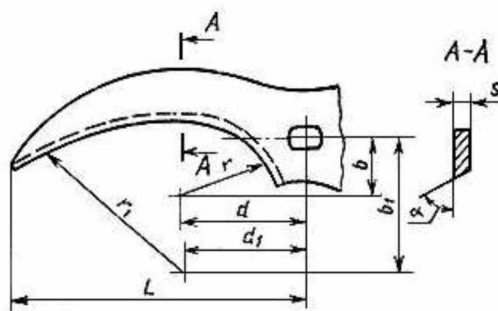


Рисунок 1.7 – Схема протирізального ножа секатора

Провівши аналіз видів лез, що застосовуються для подрібнення різних матеріалів, пропонуємо елемент робочого органу криволінійної форми ріжучою кромкою, що має безліч точок, що «виробляють різання», утворюють дотичні кути різання на кожному з ділянок леза.

1.5 Висновки до першого розділу

Аналіз поширених технічних засобів механізації для подрібнення кормових матеріалів дозволив виявити основні переваги та недоліки подрібнювальних машин. Серед найпоширеніших видів ножів, що застосовуються у подрібнювачах різних конструкцій та призначень, у дисертації виявлено найбільш вигідні виконання ріжучих кромки.

Проаналізовано основні види подрібнення зернових матеріалів. Досліджено фізико-механічні властивості зернового матеріалу.

Даний аналіз дозволив зробити висновки, що процес подрібнення кормових засобів недостатньо вивчений. Необхідно підвищити якість подрібнюваного матеріалу, знизити енерговитрати у процесі подрібнення за рахунок розробки нових засобів подрібнення.

2 МЕТОДИКА Й ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Характеристика подрібнюваного матеріалу

Програма досліджень передбачає проведення експериментальних дослідів у лабораторних умовах, які реалізовані у декілька етапів:

1. Розробка окремих методик експериментальних досліджень.

2. Виготовлення робочих органів з ріжучими елементами криволінійної форми для дослідження процесу подрібнення фуражного зерна та кормових культур.

3. Підготовка лабораторного обладнання та вимірювальної апаратури.

4. Проведення дослідів та обробка результатів.

Головним завданням у розробці методик досліджень є вивчення фізико-механічних властивостей подрібнюваного матеріалу.

Для проведення досліджень використовували кормові матеріали: пшениця, ячмінь, овес Скакун, горох Ербі.

Показники якості зернового матеріалу визначали такими методами:

- вологість зернового матеріалу за ГОСТ 13496. 3 - 80. «Комбікорми, сировина.

Методи визначення вологості»;

- об'ємну масу за ГОСТ 10840 - 64 «Зерно. Методи визначення натуральної ваги»;

- маса 1000 зерен за ГОСТ 842 - 76. «Зерно. Методи визначення маси 1000 зерен».

У таблиці 2.1 наведено основні показники зернових культур, що подрібнюються.

Таблиця 2.1 - Фізико-механічні властивості зерна.

| Показник | Культура | | | |
|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|
| | Ячмінь | Пшениця | Овес | Горох |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Довжина, мм | 6,34 – 11,15 | 4,67 – 7,98 | 6,54 – 14,94 | — |
| Ширина, мм | 2,90 – 4,71 | 2,32 – 4,20 | 2,3 – 4,13 | 5,44 – 8,00 |
| Товщина, мм | 2,3 – 3,32 | 1,44 – 3,99 | 1,22 – 355 | 4,2 – 7,65 |

Продовження таблиці 2.1

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Еквівалентний діаметр, мм | 4,21 | 3,88 | 4,11 | 6,54 |
| Густина, 1000 кг/м ³ | 1,23 – 1,40 | 121 – 1,55 | 1,11 – 1,42 | 1,34 – 1,65 |
| Маса 1000 зерен, г | 30 – 54 | 20–43 | 20–42 | 131 – 136 |
| Об'ємна маса, т/м ³ | 0,65 – 0,73 | 0,71 – 0,88 | 0,4 – 0,56 | 0,73 – 0,86 |

2.2 Вимірювальні прилади та апаратура, експериментальна установка відцентрово-роторного принципу дії

Програму досліджень виконано на модернізованій установці, виготовленій на базі відцентрово-роторного подрібнювача ІЛС-0,15 (рис. 2.1, 2.2). Установка складається з частин: корпус 1, нижній диск-ротор 2, кільця першого та другого ступенів подрібнення 3, 4, кришка 5.

Робочий процес відбувається наступним чином: оброблюваний зерновий матеріал із завантажувального патрубку через радіальні вікна в підлогу валу подається в простір між дисками, які обертаються в протилежних напрямках. Проходячи під дією відцентрових сил за радіальними наскрізними пазами, виконаними по циклоїді в кільцевих виступах зерно, що має меншу твердість і щільність набуває меншої швидкості, ніж зерно з більшою твердістю і щільністю, отже, переважно подрібнюється за допомогою зрізу на різучих парах. Вони утворені сусідніми кільцевими виступами, розташованими ближче до центру протилежних дисків, де встановлений оптимальний кут різання більш м'якого матеріалу. Подрібнений матеріал рухається до периферії під дією відцентрових сил за пазами.

Елементи протирізальних кілець першого та другого ступенів подрібнювача мають форму циклоїди. Це виконання сприяє кращому орієнтуванню зернівки, перешкоджає затримці матеріалу в зоні подрібнення. Удосконалене конструктивне

виконання різальних елементів подрібнювача дозволяє забезпечити процес різання із зменшенням енерговитрат порівняно з використанням серійних робочих органів.

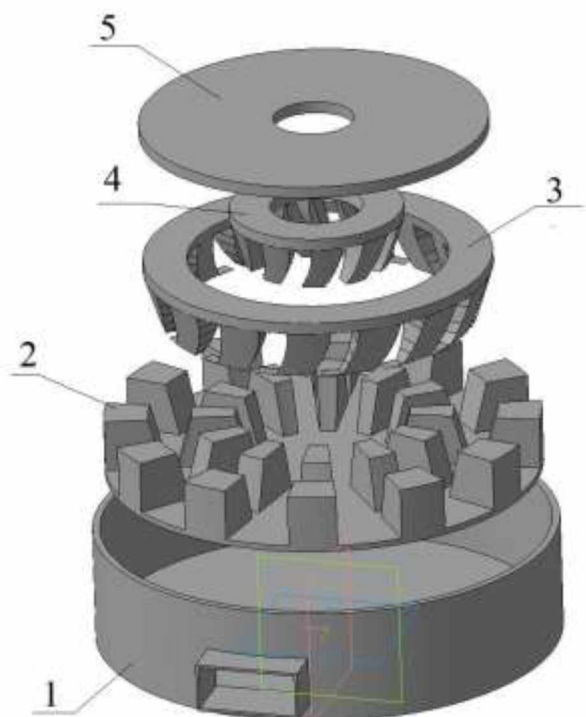


Рисунок 2.1 – Схематичне зображення експериментальної установки:

1 – корпус; 2 – диск-ротор; 3, 4 – подрібнюючі кільця; 5 – кришка



Рисунок 2.2 — Експериментальні робочі органи подрібнювача фуражного зерна

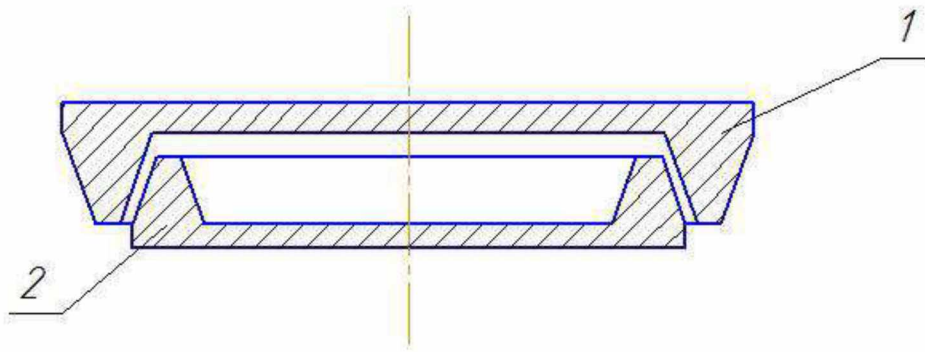


Рисунок 2.3 – Схема розташування робочих дисків один щодо одного

Ступінь подрібнення (модуль помелу) регулюється з допомогою зміни відстані між робочими органами 1 і 2, зображеними рисунку 2.3. Опускання ріжучих органів здійснюється за допомогою гвинтів, на яких встановлена проставка, що підтримує верхній диск із прикріпленими до нього робочими органами подрібнювача. Технічні характеристики установки представлені у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики експериментальної установки

| | |
|--|------------------|
| Продуктивність, т/год | до 0,15 |
| Потужність на валу двигуна | 0,8 кВт |
| Частота обертання ротора, хв ⁻¹ | 3000 |
| Діаметр роторного диска, мм | 140 |
| Напруга живлення, В | 220 |
| Габаритні розміри, мм: | 400 x 400 x 1300 |
| Довжина | 370 |
| Ширина | 280 |
| Висота | 620 |
| Маса установки, кг | 30 |

Основні фактори, що розглядаються при розробці установки:

1. Зручність монтажних та підготовчих робіт установки перед запуском.
2. Можливість швидкого та легкого регулювання аналізованих параметрів.

3. Можливість стабілізації основних робочих параметрів, що впливають на процес подрібнення та досягнення стійких режимів роботи.

4. Можливість контролю робочих параметрів процесу подрібнення за допомогою простих та надійних пристроїв.

5. Можливість швидкого та легкого виготовлення робочих органів подрібнювача з використанням універсального обладнання та оснащення.

Експерименти щодо встановлення енергоспоживання проводилися в такий спосіб. Кормова культура подавалася в приймальний бункер, що саморозвантажуються.

Під час проведення кожного дослідження в бункер засипалося по 1 кг зернового матеріалу. Цієї кількості вистачило для того, щоб вийти на режим різання і отримати дані про енергоспоживання в період до 1 хвилини.

Потужність, яку споживають у дослідженнях, реєстрували за допомогою ватметра «Energanie eg-m1» (рис. 2.4).



Рисунок 2.4 – Ваттметр з інтерактивним монітором

Дані отримували з інтервалом 2 секунди. Модель ватметра має функцію розрахунку сумарного споживання електроенергії за звітний момент часу. Знімають дані безпосередньо з приладу, оскільки він має цифровий дисплей.

Для аналізу якості подрібнення зернового матеріалу використовувався вібраційний класифікатор із набором сит.

Зважування отриманих зразків проведено на електронних терезах ВЕТ 6 – 1е.

У процесі запланованого експерименту передбачено отримати модель

$$y = b_0 + \sum_{1 \leq i \leq k} b_i x_i + \sum_{1 \leq i < j \leq k} b_{ij} x_i x_j + \sum_{1 \leq i \leq k} b_{ii} x_i^2, \quad (2.1)$$

Для виключення систематичних помилок, викликаних зовнішніми умовами під час проведення експерименту, проводилася рандомізація дослідів за таблицею випадкових чисел. Число повторностей кожного досвіду при проведенні запланованого експерименту розраховується за формулою для ймовірності 0,95.

$$n = \frac{S_y^2}{0.05\tau^2}, \quad (2.2)$$

де S_y - середнє квадратичне відхилення;

τ – величина, складова для даного випадку 5% від середнього значення \bar{y} ;

\bar{y} - середнє арифметичне.

За результатами розрахунків прийнято кількість повторів кожного досвіду – чотири.

Для кожного досвіду розраховується дисперсія:

$$S_{y_u}^2 = \frac{\sum_{g=1}^n (y_{u_g} - \bar{y}_u)^2}{(n-1)}, \quad (2.3)$$

де y_{u_g} - результат g-ої повторюваності;

\bar{y}_u - середнє арифметичне u-ої повторюваності.

Для визначення можливості проведення регресійного аналізу розраховується однорідність дисперсій паралельних дослідів за критерієм Кохрена [36]:

$$G^{розр} = \frac{S_{y_u}^2 \max}{\sum_{u=1}^N S_{y_u}^2}, \quad (2.4)$$

де $S_{y_u}^2 \max$ - найбільша у ряду дисперсія.

Розрахункове значення критерію $G^{розр}$ порівнюємо зі значенням критерію Кохрена, взятим із таблиці [17], залежно від рівня значимості числа ступенів свободи

$f = n - 1$ та числа дослідів. Ряд дисперсій вважається однорідним, якщо $G_{\text{розр}} < G_{\text{табл}}$ [36].

Дисперсія відтворюваності розраховується за формулою

$$S_y^2 = \frac{\sum_{u=1}^N S_{y_u}^2}{N}, \quad (2.5)$$

де N – число незалежних дослідів.

Проведення експерименту з використанням ортогонального симетричного композиційного плану передбачає отримання спочатку моделі процесу виду [1,20,22]:

$$y = b'_o + \sum_{i=1} b_i x_i + \sum_{i \leq j} b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1} b_{ii} x_i^2 \quad (2.6)$$

Оцінки коефіцієнтів моделі (2.1) визначають незалежно один від одного за формулами [1,20,22]:

$$b'_o = \frac{\sum_{u=1}^N n_u \bar{y}_u}{\sum_{u=1}^N n_u}, \quad b_i = \frac{\sum_{u=1}^N n_u x_{iu} \bar{y}_u}{\sum_{u=1}^N n_u x_{iu}^2}, \quad (2.7)$$

$$b_i = \frac{\sum_{u=1}^N n_u (x_i x_j)_u \bar{y}_u}{\sum_{u=1}^N n_u (x_i x_j)_u^2}, \quad b_i = \frac{\sum_{u=1}^N n_u x'_{iu} \bar{y}_u}{\sum_{u=1}^N n_u x_{iu}^2}. \quad (2.8)$$

де u – порядковий номер дослідів.

Дисперсії оцінок коефіцієнтів розраховують:

$$S_{b'_o}^2 = \frac{S_y^2}{\sum_{u=1}^N n_u}, \quad S_{b_i}^2 = \frac{S_y^2}{\sum_{u=1}^N n_u x_{iu}^2}, \quad (2.9)$$

$$S_{b_i}^2 = \frac{S_y^2}{\sum_{u=1}^N n_u (x_i x_j)_u^2}, \quad S_{b_i}^2 = \frac{S_y^2}{\sum_{u=1}^N n_u x_{iu}^2}. \quad (2.10)$$

Після розрахунку коефіцієнтів рівняння регресії, проводиться їх перевірка на статистичну значущість.

Довірчий інтервал розраховується:

$$\Delta b_i = t_{\alpha; f_1} S_{b_i}, \quad (2.11)$$

де t - критерій Стюдента, береться з таблиць [28] в залежності від рівня значущості і числа ступенів свободи f_1 ;

S_{b_i} – середнє квадратична помилка у визначенні коефіцієнтів регресії.

Потім визначається значимість коефіцієнтів. Коефіцієнт вважається статистично значимим, коли його абсолютна величина більше довірчому інтервалу чи дорівнює йому:

$$|b_i| \geq \Delta b_i. \quad (2.12)$$

При ортогональному плануванні значимі коефіцієнти з моделі можуть бути виключені, при цьому перерахунок інших коефіцієнтів не потрібно.

Після розрахунку коефіцієнтів і перевірки їх статистичної значущості від моделі (2.22) переходять до моделі (2.17), розрахувавши значення b_o

$$b_o = b'_o - \lambda_2 \sum_{i=1}^k b_{ii}, \quad (2.13)$$

$$\lambda_2 = N^{-1} \sum_{u=1}^N x_{iu}^2. \quad (2.14)$$

Оскільки коефіцієнти b_o і b_{ii} оцінені незалежно один від одного, дисперсія $S_{b_o}^2$ визначається за законом накопичення помилок:

$$S_{b_o}^2 = S_{b'_o}^2 + \lambda_2^2 \sum_{i=1}^k S_{b_{ii}}^2. \quad (2.15)$$

Перевірку отриманої моделі на адекватність здійснюють за допомогою критерію Фішера за формулами

$$F_{f_2; f_1}^{розр} = \frac{S_{неад}^2}{S_y^2}, \quad (2.16)$$

$$f_2 = N - k', \quad (2.17)$$

де k' - кількість вагомих коефіцієнтів апроксимованого рівняння;

N – кількість досліді плану;

$$f_2 = N(n-1), \quad (2.18)$$

N – кількість повторів кожного досліду;

$S_{неод}^2$ - дисперсія неоднозначності.

$$S_{неод}^2 = \frac{SS_{неод}}{f_2}, \quad (2.19)$$

$$SS_{неод} = n \sum_{i=1}^N \left(y_{i_{розр.}} - \bar{y}_{i_{експ}} \right)^2, \quad (2.20)$$

де $y_{i_{розр.}}$, $y_{i_{експ}}$ – значення відклику в i -тому досліді, відповідно, розрахованого за рівнянням регресії та визначене експериментально.

Гіпотеза про адекватність рівняння може бути прийнята лише тоді, коли отримане при проведенні розрахунків значення критерію Фішера не перевищує табличного значення для вибраного рівня достовірності, тобто $F_{табл.} \geq F_{розр.}$

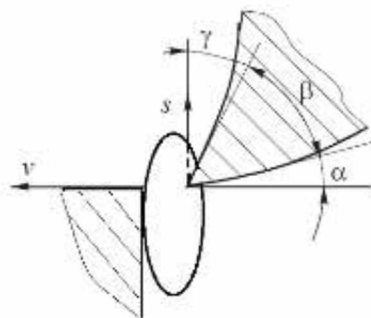
2.4 Експериментальне визначення геометричних параметрів ріжучих елементів робочих органів подрібнювача

Кути різання, утворені різальними кромками робочих органів подрібнювача фуражного зерна, мають велике значення у процесі подрібнення.

Вивчення робіт, присвячених проблемі різання, дозволяє оцінити вплив кутів, що утворюють ріжучу кромку, на енергоємність та продуктивність процесу обробки. Застосування поверхонь різання з криволінійною формою ріжучої кромки дозволяє зменшити значення кута ковзання оброблюваного матеріалу і в той же час збільшити значення кута ковзання різання, своєю чергою це може сприятливо позначитися на процесі різання зернових матеріалів.

При виконанні стінок наскрізних пазів по циклоїді (за рахунок різниці зовнішнього та внутрішнього діаметрів робочих кілець, а також за рахунок кривизни лопатки наскрізного паза) ріжуча кромка кільцевого виступу біля своєї вершини утворює клин (рис. 2.6). Позначимо кути, що утворюють клин біля поверхонь ріжучої кромки, назвемо їх умовно: γ – допоміжний кут, утворений положенням диска подрібнювача щодо оброблюваного матеріалу, α – головний кут різання, β – допоміжний кут, що змінюється. Враховуючи той факт, що оброблюваний матеріал має анізотропні властивості, а процес обробки зерна в подрібнювачі включає кілька

видів руйнування, автори дійшли висновку: для даного випадку немає методики, що враховує всі фактори, що впливають на процес руйнування матеріалу і що дозволяє провести розрахунки кута різання. Оптимальний кут різання встановлювався дослідним шляхом. Також автори врахували результати досліджень щодо визначення зносостійкості робочих органів, наведені у розділі.



γ – допоміжний кут, утворений положенням диска подрібнювача щодо оброблюваного матеріалу, α – головний кут різання, β – допоміжний змінний кут.

Рисунок 2.6 – Перетин ріжучого клина кромки робочих кілець подрібнювача.

Для визначення оптимального кута, що утворює клин при вершині кромки ріжучої, був поставлений експеримент. Виготовлено робочий орган із єдиним кільцевим вирізом, після кожної серії запусків подрібнювача кут кромки змінювався на 5 градусів. Далі проводився відбір проб зернового матеріалу, що подрібнюється; одержуваний продукт помелу розглядали на мікроскопі. Також встановлювали гранулометричний склад та фіксували значення енергоспоживання за допомогою ватметра.

2.5 Дослідження фізико-механічних властивостей зерна, визначення раціональної форми ріжучого елемента

Головними параметрами, які слід враховувати при проектуванні подрібнювальних пристроїв, є фізико-механічні властивості матеріалу, що обробляється. Для встановлення оптимальної форми різального елемента матеріалу авторами виготовлено пристрій, представлений рисунку 2.7.

Пристрій агрегується з ручним пресом, через який передається зусилля різання. Складається з частин: набору змінних лез, що імітують ріжучі елементи

різної форми, гвинтів затискних, за їх допомогою здійснюється кріплення змінних лез, хвостовика і корпусу.

Працює пристрій в такий спосіб.



1 – ручний прес, 2 – затискні гвинти, 3 – змінне лезо, 4 – хвостовик, 5 – корпус пристрою

Рисунок 2.7 – Пристрій для визначення кута різання:

Зернівка укладається на протирижучу пластину при піднятому тримачі, потім тримач опускається. Відбувається опускання тримача за рахунок тиску, створюваного вантажами, що підвішені до ручки преса. Зернівка починає виштовхуватися з розчину до моменту утворення кута різання, при якому сили тертя перевищують сили тиску робочих органів на матеріал. В.П. Горячкин називав даний кут кутом защемлення і показав, що виштовхування предмета та його нерухоме становище у момент досягнення критичного значення кута защемлення залежить від кутів тертя між кромками лез і предмета.

2.6 Порядок виконання дослідів

Перед запуском установки в електричний ланцюг вмикався ватметр. Запуск установки здійснювався за допомогою увімкнення автоматичного вимикача.

При режимі роботи заслінка завантажувального бункера відкривалася, зерно надходило безпосередньо в камеру подрібнення. Показання, отримані в початковий момент роботи установки (до моменту режиму), не брали до уваги, оскільки були обумовлені пусковим моментом електродвигуна, але враховувалися при розрахунку сумарного споживання електроенергії. Показання знімали з моменту встановленого

режиму, тобто без різких стрибків споживаної потужності, приблизно з третього, четвертого показання приладу (з 6-8 секунд від початку роботи установки).

2.7 Визначення форми сегмента зернівки на виході другого та наступних ступенів подрібнювача

Експериментальні дослідження проведено на подрібнювачі фуражного зерна.

Порядок визначення форми сегмента зернівки на виході першого та другого ступеня подрібнювача:

1. З робочого органу знімалося протилежне кільце другого ступеня подрібнення.

2. Запускалася установка за допомогою увімкнення автоматичного вимикача.

3. При режимі, що встановився, відкривалася заслінка для подальшого надходження кормового матеріалу в зону подрібнення.

4. При настанні стабільного робочого режиму встановлення вихід зерна з бункера перекривався відсікачем, відокремлюючи порцію зернової дерти.

5. Відбирали проби для ситового аналізу у спеціальній ємності.

6. Для аналізу розмірів та форми сегментів зернівки на виході першого ступеня подрібнювача використовувався ситовий класифікатор та набір сит.

7. Для візуального огляду частин зерновок після виходу з кожного ступеня подрібнення використовувався мікроскоп ДІМ – 215.

2.8 Визначення орієнтації та місцезнаходження зернівки та сегменту зернівки у каналах робочих органів подрібнювача фуражного зерна

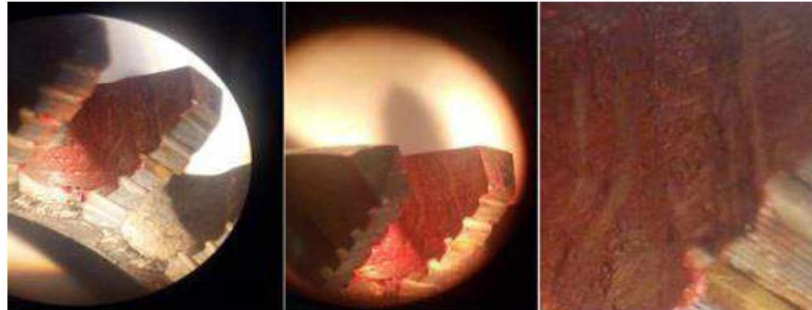
Для графічного визначення траєкторії руху сегмента зернівки, а також для встановлення розташування сегмента зернівки проведено такі експерименти:

1. Для наочності траєкторії руху зернівки на стінки каналу першого ступеня подрібнювача наносилася індикаторна фарба для проведення дослідів з малою кількістю зерна (рис. 2.8), а для експериментів з великою кількістю зерна використовувалася двостороння липка стрічка.

2. Запуск електродвигуна здійснювався включенням автоматичного вимикача.

3. При режимі, що встановився, відкривалася кришка завантажувального бункера для подальшого надходження кормових культур різними дозами.

4. Робота подрібнювача в режимі, що встановився, здійснювалася протягом 60 секунд, після електродвигун зупинявся.



а)

б)



в)

а – залишені зернівкою на стінці пазів робочих органів, б – траєкторія руху зернівки по поверхні стінки робочого органу, в – зернівки зі слідами фарби

Рисунок 2.8– Сліди на фарбі.

5. Проводився розбір подрібнювача та реєструвалися сліди, що залишаються сегментом зернівки на поверхні стінок пазів, а також сліди фарби на зернівці. Досвід проводився із різною кількістю зернового матеріалу; даний метод застосовувався для запуску малої кількості зерновок. При запуску великої кількості зерна з використанням липкої стрічки реєструвалося положення сегментів зернівки в каналі другого ступеня подрібнення.

2.9 Визначення споживаної потужності

Одним із важливих питань у методиці досліджень є визначення потужності, що споживається установкою на подрібнення. Потужність, що витрачається

подрібнювачем на руйнування зерна, фіксували за допомогою ватметра. У сучасній техніці використання приладів даного типу виправдовується їх простотою у користуванні, точністю показань, надійністю та невисокою вартістю.

Даний прилад не вимагає створення додаткового програмного забезпечення або іншого обладнання, оскільки вся інформація про споживання енергії виводиться на цифровий дисплей ватметра. Точність вимірювань підтверджується паспортом приладу із зазначенням проведеної перевірки (тарування).

2.10 Визначення продуктивності подрібнювача

Важливим фактором є визначення витрати електроенергії на тону продукту, що одержується в подрібнювачі фуражного зерна.

Продуктивність фіксували під час режиму роботи подрібнення зерна. Установившимся періодом чи режимом надалі називатимемо режим, у якому витрата енергії постійний.

Момент настання режиму, що встановився, визначали за показаннями ватметра. При режимі, що встановився, фіксували числові показання приладу, проводили відбір проб для розрахунку продуктивності установки, що працює в заданому режимі.

Величину годинної продуктивності фіксували методом вимірювання часу, що витрачається на подрібнення 1 кілограм зернового матеріалу. Зважували подрібнений матеріал на електронних вагах з точністю до 0,01 г. Досліди проведені з п'ятикратною повторністю, кожен результат розрахунку – середня арифметична сума проб, взятих під час дослідів.

Годинна продуктивність розрахована за формулою

$$Q = 3.6 \frac{q}{t}, \quad (2.21)$$

де Q – продуктивність установки, т/год;

q - маса проби за час дослідів, кг;

t - час дослідів, с.

Визначення гранулометричного складу подрібненого матеріалу. В даний час гранулометричний склад твердих матеріалів оцінюється за вмістом у ньому фракцій

різних розмірів, тобто за кількісним вмістом частинок певного розміру, сортування подрібненого матеріалу за класами – за допомогою набору сит, якщо частинки більші за 40 мкм.

Седиментометричний спосіб - поділ на фракції за швидкістю осідання частинок в рідкому середовищі, якщо їх розміри від 5 до 50 мкм.

Мікроскопічний – вимір характерного розміру частинок під мікроскопом, якщо розмір часток – 5 мкм.

Мікроскопічний спосіб являє вимір характерного розміру частинок під мікроскопом або частинок в рідкому середовищі, якщо їх розміри від 5 до 50 мкм.

У проведених дослідах якість продукту подрібнення визначалося ситовим способом. Метод представляє наступне: навішування дерті (100 г) просівається через набір штампованих сит із круглими отворами Ø 5; 3; 2 і 1 мм при грубому та середньому подрібненні або Ø 5; 3; 2; 1 та 0,2 мм – при тонкому подрібненні.

Сита з отворами Ø 5 мм є контрольними для обліку цілих зерен, їх наявність у дерті не допускається. Залишки дерти на цих ситах приєднують до залишку на ситі з отворами Ø 3 мм.

Середньозважений діаметр частинок (модуль помелу) обчислюють однією з наступних формул.

$$M = (0.5p_0 + 1.5p_1 + 2.5p_2 + 3.5p_3) / 100, \quad (2.22)$$

де M - середньозважений діаметр частинок (модуль), мм;

p_0 - залишок на збірному дні після проходження дерті через набір всіх зазначених сит, мм (%);

p_1, p_2, p_3 – залишки на ситах з отворами Ø 1,2 та 3 мм (%).

Ситовий аналіз проводять на лабораторній установці. Операція вважається закінченою, якщо при контрольному просіванні протягом однієї хвилини кількість матеріалу, що пройшла через сито, не перевищуватиме 1% від кількості, що залишилася на ситі. Для підвищення точності одержуваних результатів навеси для розсівання виділяли з відібраних проб триразової повторності. У стандарті для комбікорму (ГОСТ 23445 – 79) визначено три ступені розмелювання, для яких

характерними розмірами частинок (модуль помелу): 0,2...1,0 мм – дрібний розмелювання; 1,0 ... 1,8 мм - середній; 1,8 ... 2,6 мм - великий.

За результатами ситового аналізу будується графічне зображення гранулометричного складу продуктів подрібнення.

2.11 Висновки до другого розділу

1. Розроблений програму та алгоритми проведення експериментальних досліджень, що передбачало дослідження процесу подрібнення зерна злакових культур.

2. У відповідності до програми досліджень для досягнення поставленої мети необхідно здійснити визначення якості процесу подрібнення при змінні конструктивних та режимних параметрів роботи подрібнювача з встановленням оптимальних параметрів його роботи.

3. Розроблена і виготовлена лабораторна установка, що реалізує процес подрібнення.

3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Аналіз фізико-механічних властивостей подрібнювального матеріалу

Визначаючи ефективність використання подрібнювача зерна, необхідно знати фізико-механічні властивості подрібнюваного матеріалу. Основні властивості, що розглядаються: об'ємна маса, абсолютна маса, щільність, вологість, фізичний склад, середня твердість [22].

За представленою у другому розділі методикою було визначено середні геометричні розміри використовуваних кормових матеріалів (фуражного зерна). За результатами вимірювань: максимальна довжина – у вівса (14,94 мм), найменша довжина – у пшениці (4,67 мм), найбільша ширина – у гороху (8,00 мм), найменша – у вівса (4,13 мм) .

Зернові матеріали, що подрібнюються, крім гороху, мали форму, близьку до еліпсоїда (рис. 3.1).

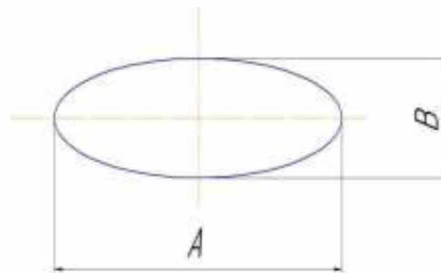


Рисунок 3.1 – Умовне зображення зерна

Враховуючи той факт, що довжина зернівки у 2 – 3 рази перевищує її ширину, припущення про умовне прийняття зернівки за еліпсоїд можна вважати справедливим. Подаємо зернівку у вигляді еліпсоїда.

3.2 Визначення форми сегмента зернівки на виході першого ступеня подрібнювача

Дані експерименту, проведеного за методикою, описаною в попередньому розділі, наведено на графіку (рис. 3.2).

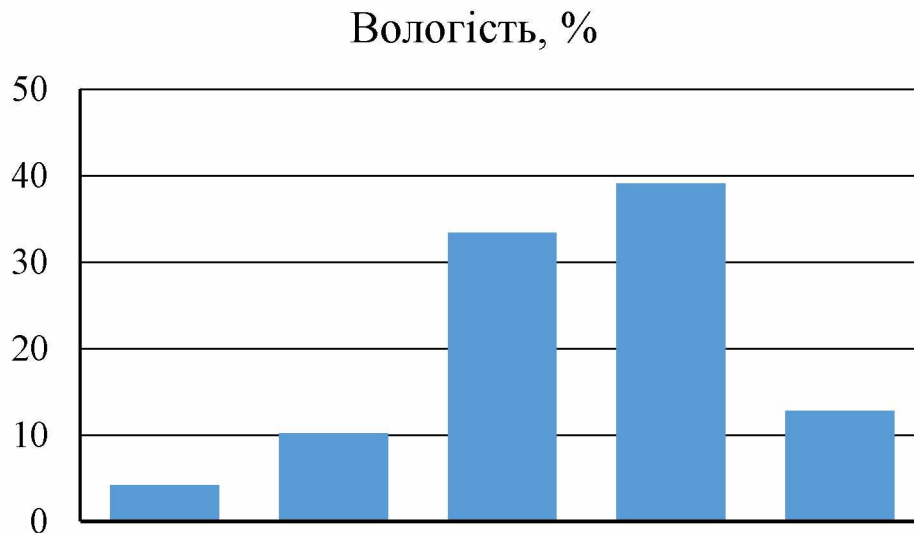


Рисунок 3.2 – Гранулометричний склад зернового матеріалу після першого ступеня подрібнювача зернових матеріалів

У роботі [5] встановлено, що під час руху зерна в каналі першої ріжучої пари робочого органу відцентрово-роторного подрібнювача зернівка повертається, переважно орієнтуючись довгою віссю вздовж стінки каналу, при цьому різання відбувається поперек частки.

Зі сказаного вище, а також за результатами експериментальних випробувань, представлених на рисунку 3.2, впливає: у сегмента зернівки форма еліпсоїда товщиною від 1 до 2 мм.

3.3 Визначення положення зернівки в каналі другого ступеня подрібнювача зернових матеріалів

За даними, отриманими в ході експериментів, слідує, що зернівка орієнтується довгою віссю вздовж радіуса ротора і розрізається на сегменти. Під дією сили Кориоліса сегмент зернівки повертається. Також цьому сприяє положення сегмента зернівки на опуклій поверхні стінки наскрізного паза. На другому ступені подрібнення зернівка розрізається перпендикулярно поверхні попереднього зрізу (після першого ступеня подрібнення). Як приклади показані фотографії фрагментів зернівок, отримані після першого та другого ступенів подрібнення (рис. 3.3 та 3.4).

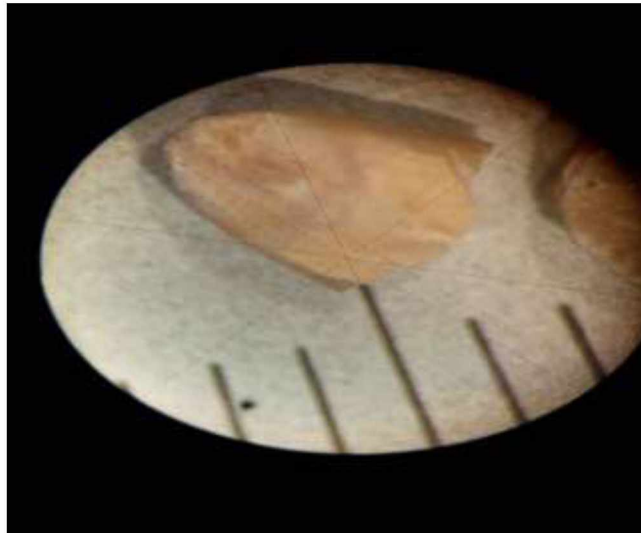


Рисунок 3.3 – Фрагмент зернівки, отриманий після першого ступеня подібнення

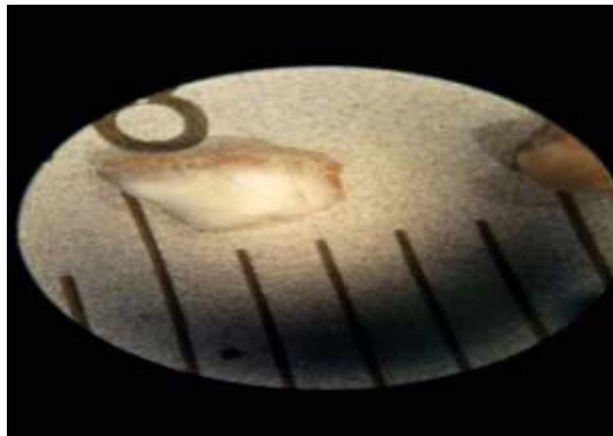


Рисунок 3.4 – Фрагмент зернівки, отриманий після другого ступеня подібнення



а)

б)

а – після першого запуску; б – після серії запусків подібнювача

Рисунок 3.5 – Сліди, залишені зернівкою на поверхні стінки наскрізного паза.

На рисунку 3.5 показані борозенки, залишені зернівкою, які описують траєкторію руху подібнюваного матеріалу. Ширина борозенок вказує: зернівка орієнтується довгою віссю до зони подібнення.

3.4 Визначення оптимальних кутів при вершині кромки кільцевих виступів.

Для практичного визначення оптимальних співвідношень кутів різання та кривизни лопаток ріжучого елемента проводилися контрольні розрізання зернівок, а також їх сегментів. Досліди проведені з п'ятикратною послідовністю згідно з загальновідомими методиками [18,22].

На підставі результатів досліджень отримано оптимальні (раціональні) кути різання. При статичних навантаженнях побудовано графічні залежності використання маси вантажу на важелі залежно від геометрії ріжучого елемента (рис. 3.6).

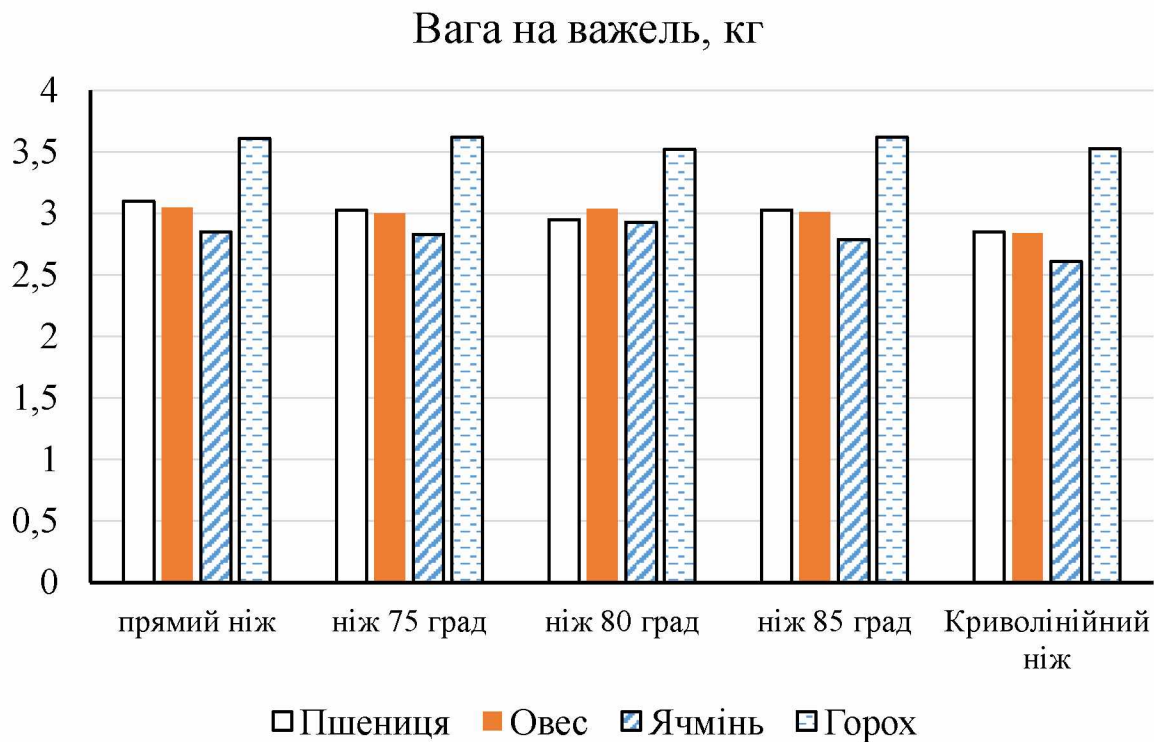


Рисунок 3.6 – Діаграма величини ваги вантажів на важелі пристрою залежно від геометрії ріжучого елемента

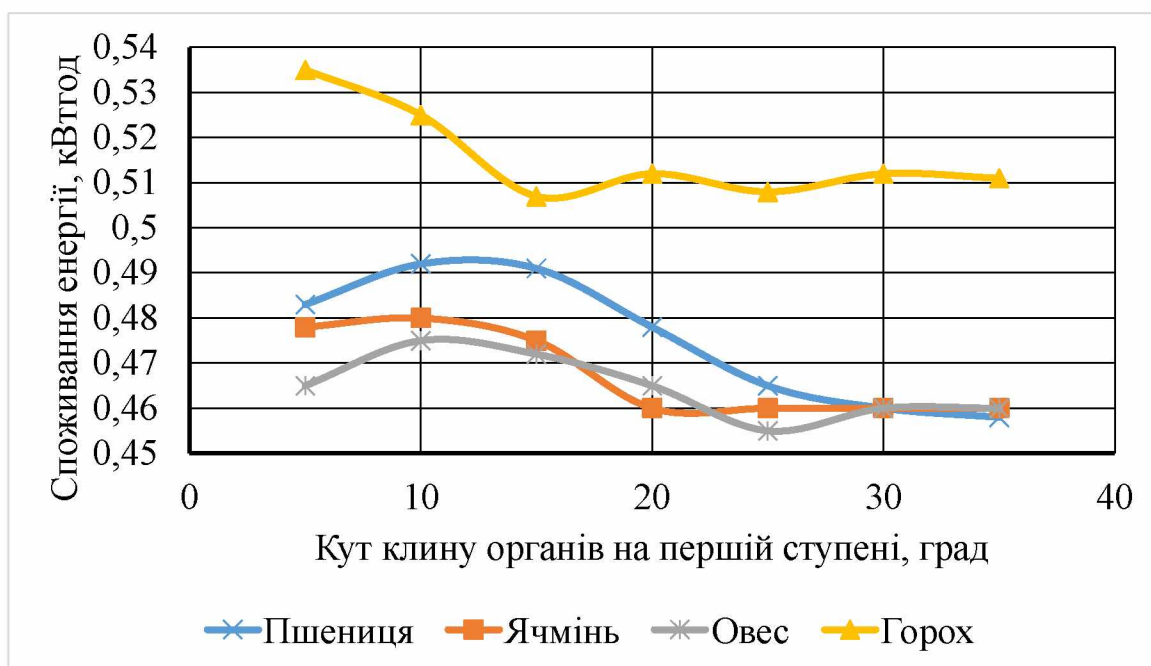


Рисунок 3.7 – Графік середніх показників споживання енергії з використанням кута клину до $\beta = 30^\circ$

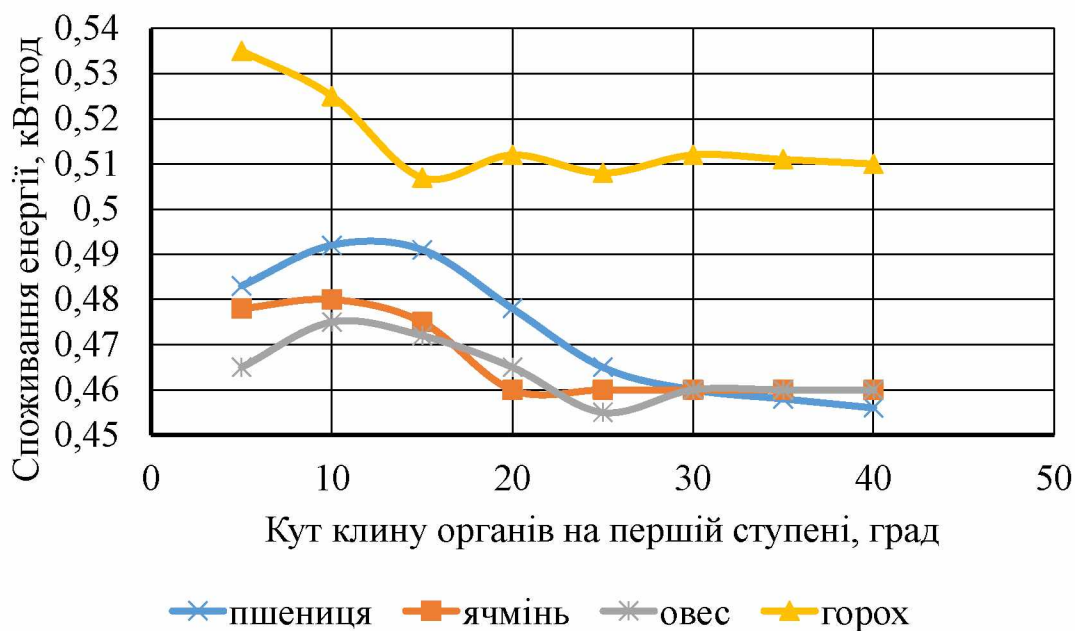


Рисунок 3.8 – Графік середніх показників споживання енергії з використанням кута клину до $\beta = 35^\circ$

Результатом досліджень встановлено визначення оптимальних кутів різання для першого та другого ступенів подрібнення: для першого ступеня $\beta = 30^\circ$, для другого – $\beta = 35^\circ$.

Контрольні виміри кутів проводилися на мікроскопі УІМ-215. Клини, утворені при ріжучих кромках наскрізних пазів кільцевих виступів першого та другого ступенів подрібнення, представлені на рисунках 3.9 та 3.10.

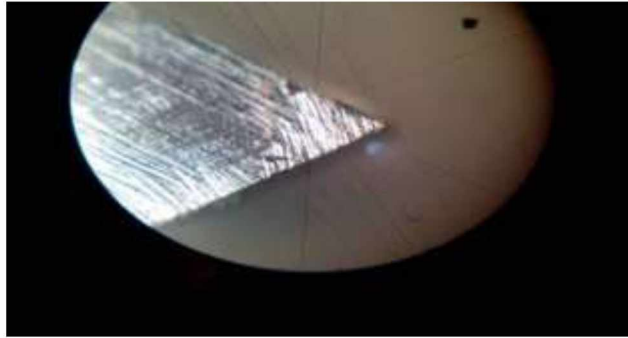


Рисунок 3.9 – Клини на робочих органах першого ступеня подрібнення $\beta = 30^\circ$

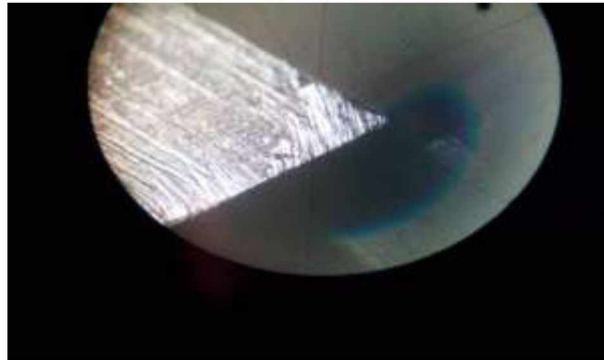


Рисунок 3.10 – Клини на робочих органах другого ступеня подрібнення $\beta = 35^\circ$

Проаналізувавши дані експериментів щодо визначення раціональної геометрії ножа, дістали висновок: кут защемлення однаковий для першої та другої пар подрібнення.

З урахуванням вищенаведених досліджень було розроблено робочі органи подрібнювача, що дозволяють покращити якість подрібнення фуражного зерна за рахунок зміни форми ріжучого елемента (рис. 3.11).



Рисунок 3.11 – Робочі органи подрібнювача фуражного зерна

3.5 Визначення корисної потужності та продуктивності подрібнювача

Проведений аналіз експериментів щодо визначення витрат енергії на подрібнення показав: у результаті виконання ріжучих елементів за криволінійною формою наскрізних пазів під кутами питома енергоємність знижується на 11,9% (рис. 3.14, 3.15). Продуктивність збільшується на 10,7%.

Результати показників, отримані під час подрібнення зернових культур, представлені на рисунках 3.12 та 3.13.

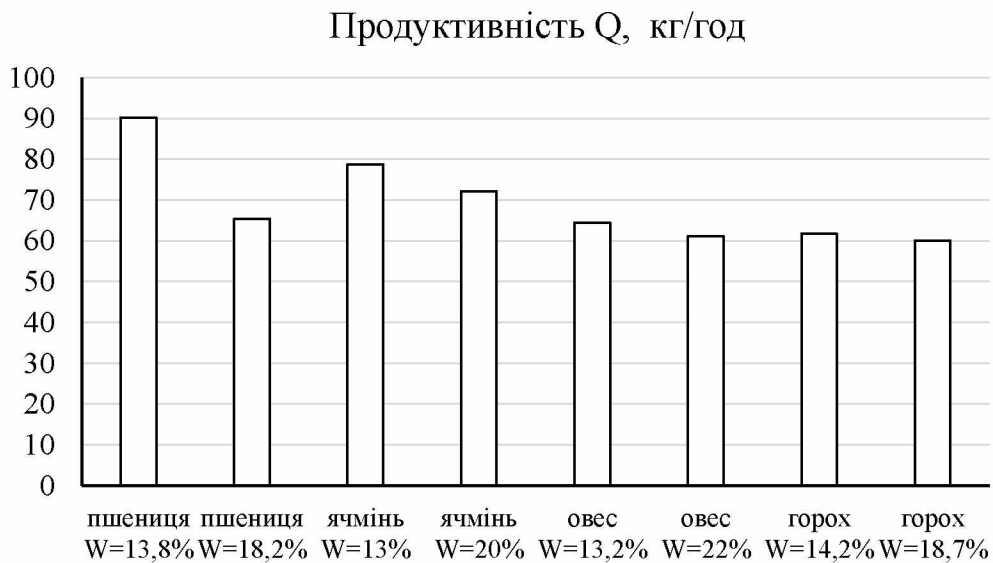


Рисунок 3.12 – Продуктивність ЦРІ при подрібненні зерна на робочих органах, що серійно випускаються.

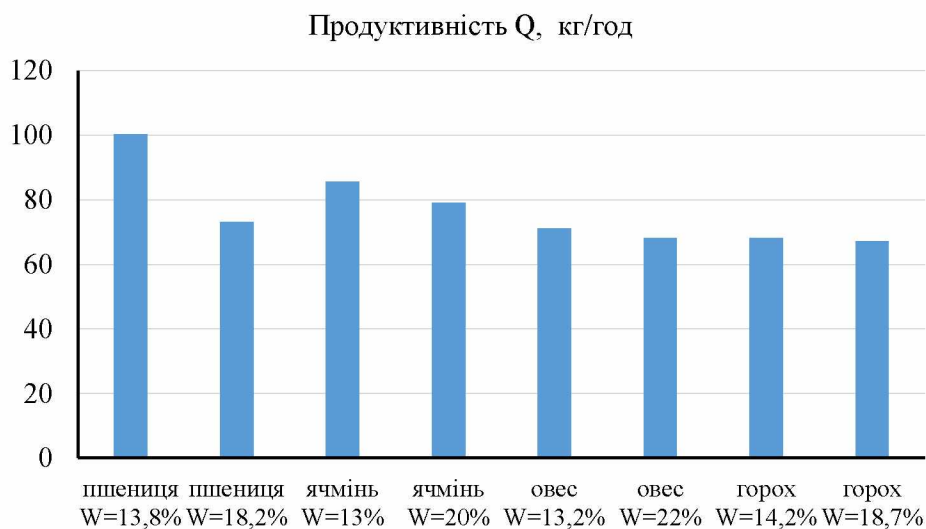


Рисунок 3.13 – Продуктивність ЦРІ на пропонуваніх робочих органах з криволінійними ріжучими елементами у формі циклоїди

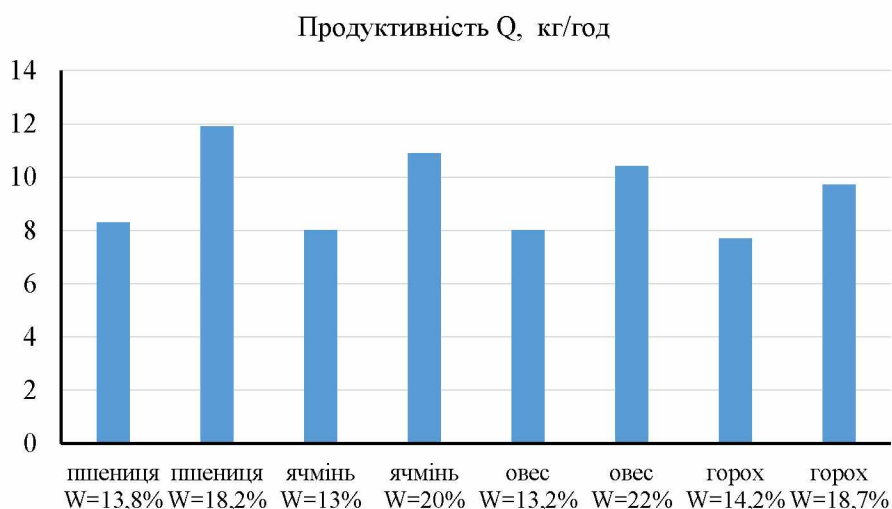


Рисунок 3.14 – Питома енергоємність подрібнення зерна на серійних робочих органах



Рисунок 3.15 – Питома енергоємність подрібнення на пропонованих робочих органах

Проаналізувавши експериментальні дані, відзначимо, питома енергоємність процесу під час використання робочих органів із криволінійними ріжучими елементами загалом знижується на 11,9 % з допомогою підвищення продуктивності на 10,7%.

Вологість подрібнюваного матеріалу істотно впливає на процес подрібнення: з підвищенням вологості зростає пластичність матеріалу, це збільшує енерговитрати на подрібнення.

3.6 Визначення гранулометричного складу подрібнюваного матеріалу

Аналіз результатів експерименту щодо визначення гранулометричного складу подрібненого зерна показав, що в результаті обліку зміни геометрії ріжучого елемента робочого органу спостерігається зниження пилоподібної фракції та кількості цілих зерен у готовому продукті помелу.

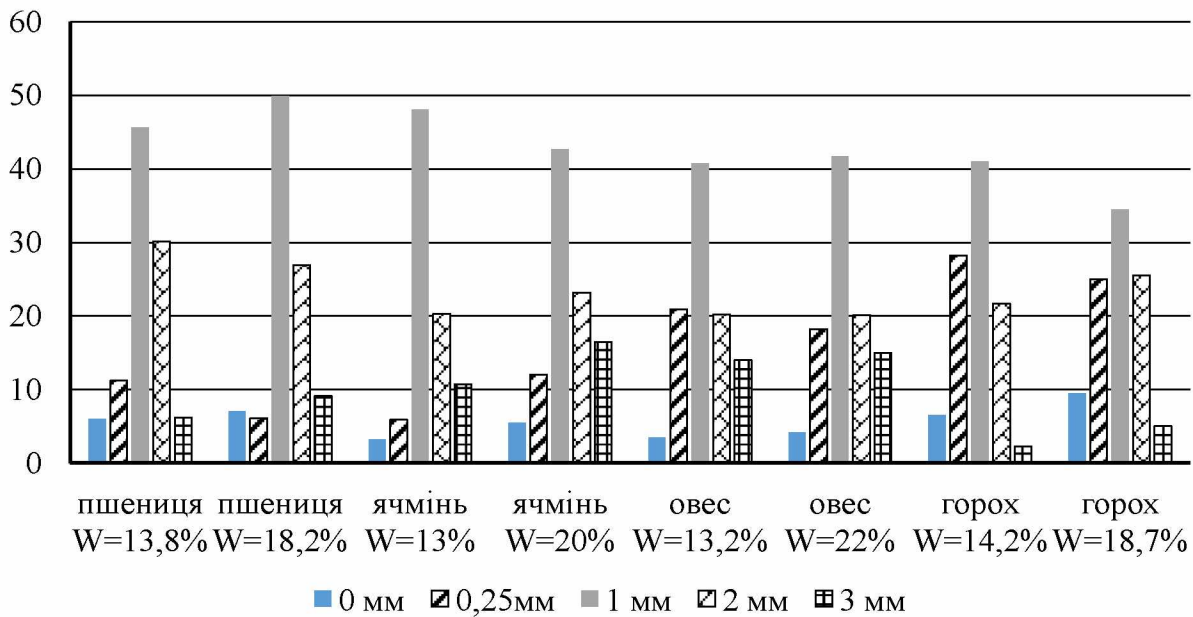


Рисунок 3.16 – Гранулометричний склад подрібненого зерна на серійних робочих органах ($\chi_1 = 18^\circ$, $\chi_2 = 18^\circ$)

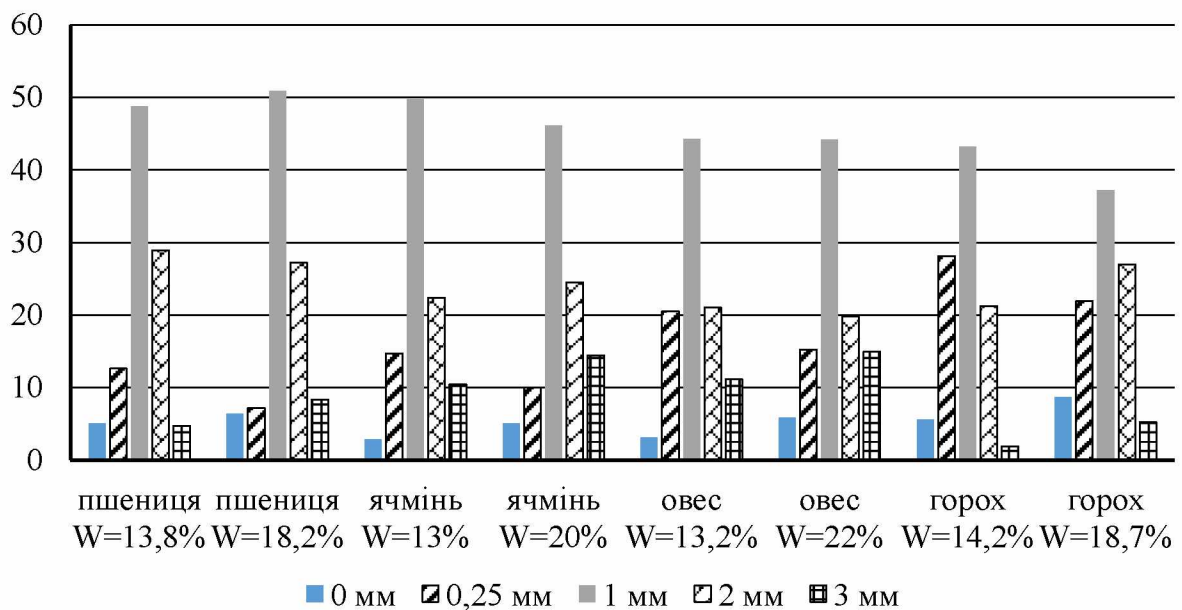


Рисунок 3.17 – Гранулометричний склад подрібненого зерна на робочих органах з ріжучими елементами, виконаними у формі циклоїди

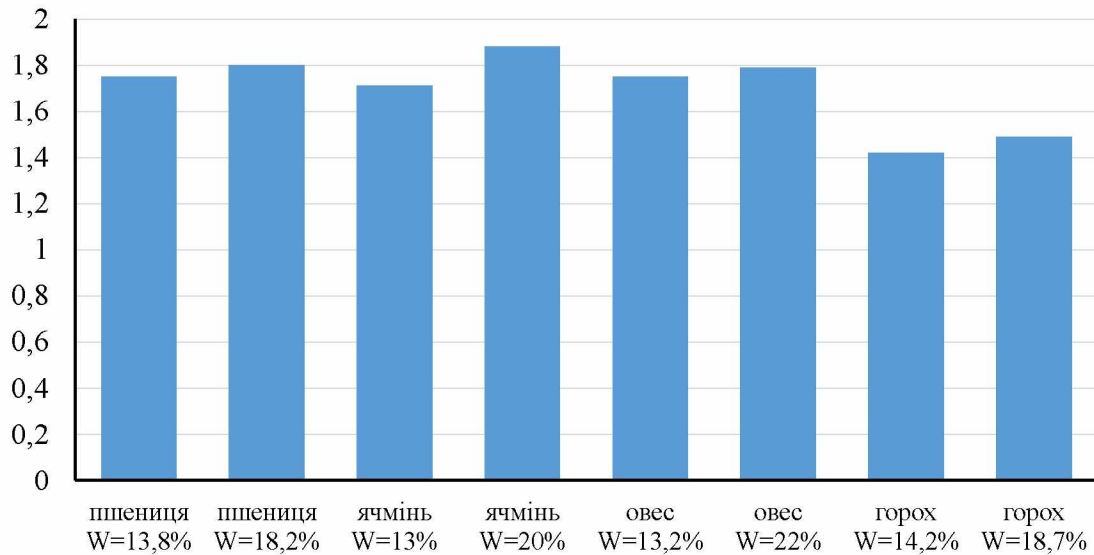


Рисунок 3.18 – Модуль помелу М (мм) на серійних робочих органах ($\chi_1 = 18^\circ$, $\chi_2 = 18^\circ$)

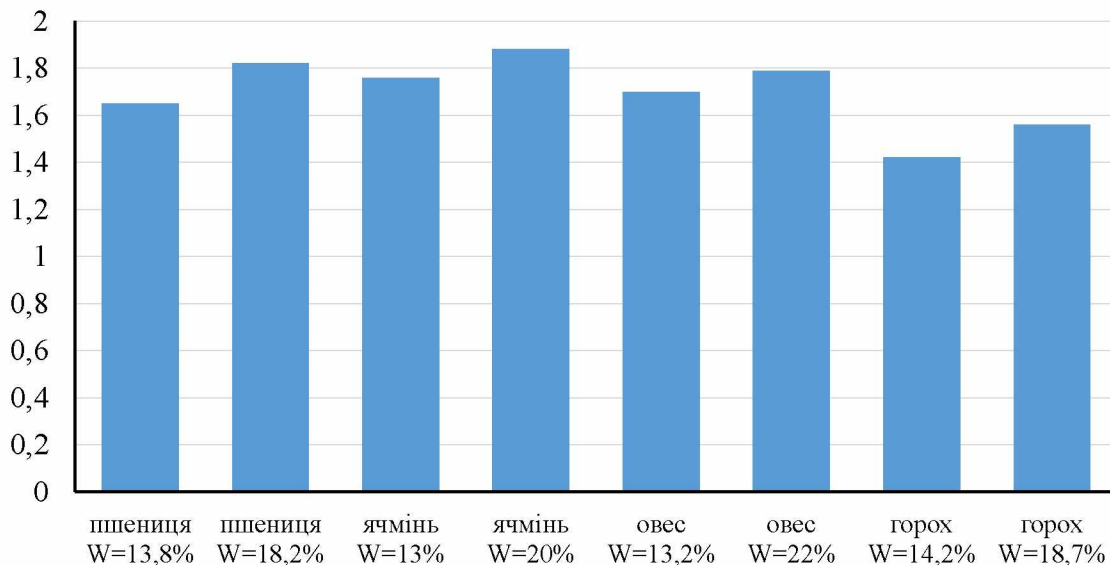


Рисунок 3.19 – Модуль помелу М (мм) на робочих органах із криволінійними ріжучими елементами, виконаними у формі циклоїди

Результати запланованого експерименту

На підставі експерименту, що відсіює, для подальших досліджень були прийняті діаметри утворює циклоїду кола від 3 до 5 мм. За методикою планування повного факторного експерименту виконано експеримент і отримано рівняння регресії (3.1) Модель визнана адекватною на 5% рівні ($F_{\text{розр}} = 2,01 < F_{\text{табл}} = 2,05$).

$$\begin{aligned}
 & b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + b_{12} + X_1 X_2 + b_{13} X_1 X_3 + \\
 & + b_{23} X_2 X_3 + b_{11} X_1^2 + b_{22} X_2^2 + b_{33} X_3^2
 \end{aligned} \tag{3.1}$$

Аналізуючи отримане рівняння, можна назвати:

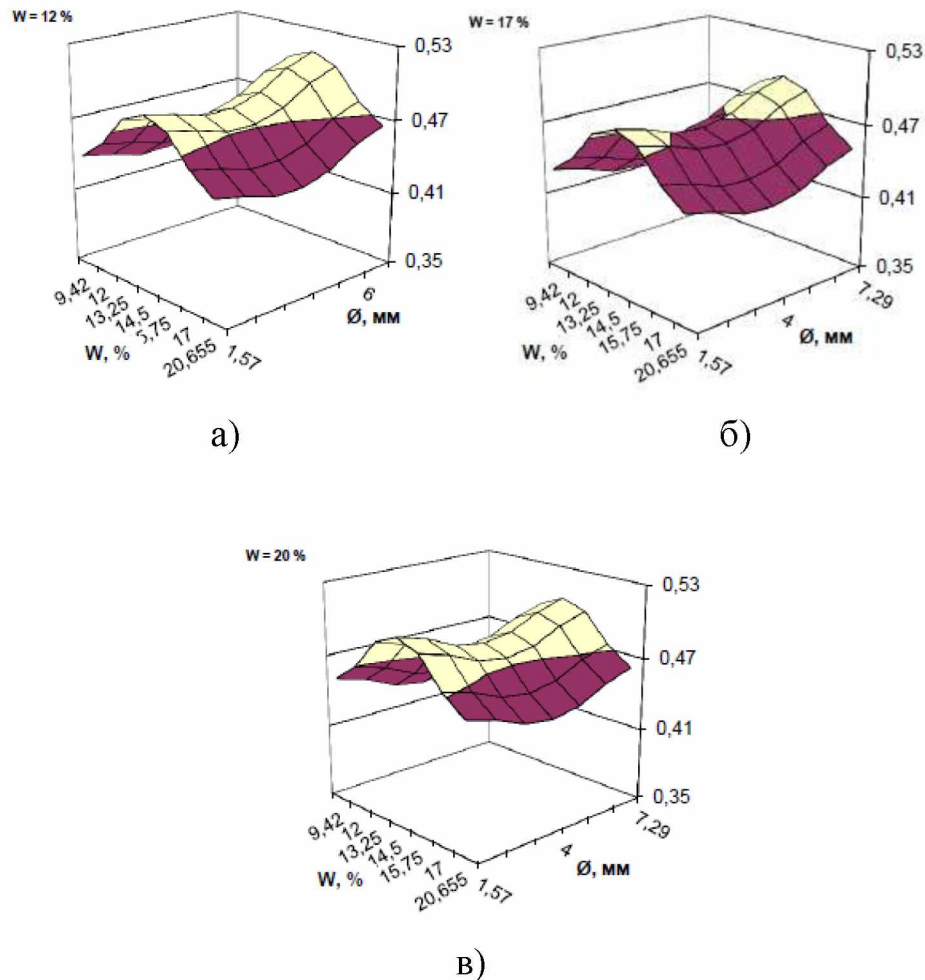
1. Зі збільшенням з вологості матеріалу збільшується енергоспоживання процесу подрібнення.

2. Діаметр, що утворює циклоїду, лежить у межах від 3 до 5 мм.

При переведенні кодованих величин у натуральні з рівняння (3.2) рівняння регресії набуло вигляду

$$Y = 0.0011719 \cdot d \cdot n - 0.000125 \cdot d \cdot w - 0.02892d + 0.005238n^2 - 0.00015625 \cdot n \cdot w - 0.038735n - 0.005016w^2 + 0.14724w - 0.48744. \quad (3.2)$$

На підставі рівняння регресії (3.1) отримано залежність якості закладення подрібнення зернових матеріалів (рис. 3.20 – 3.22).



а – 12%, б – 17%, в – 20%

Рисунок 3.20 – Поверхні відгуку при постійній вологості W, %.

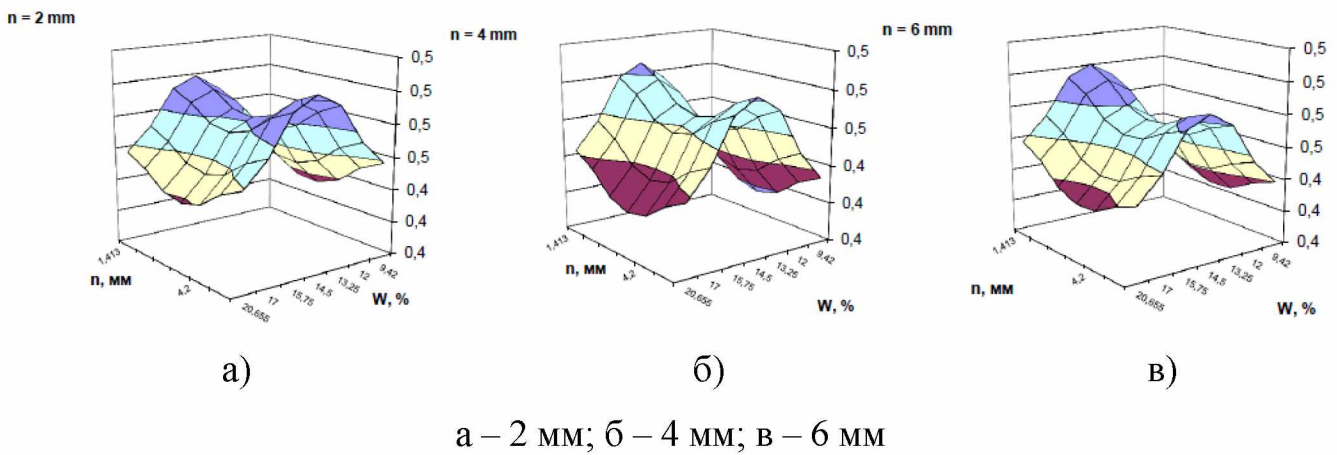


Рисунок 3.21 – Поверхня відгуку з розмірами частинки матеріала.

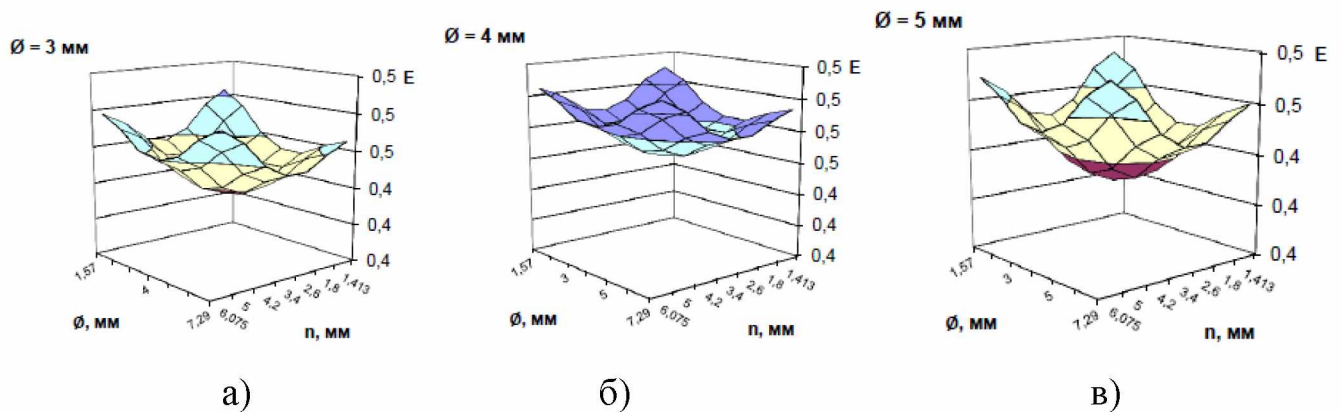


Рисунок 3.22 – Поверхні відгуку при постійному значенні діаметра, що утворює циклоїд: а – 3 мм; б – 4 мм; в – 5 мм

За результатами повного факторного експерименту можна дійти такого висновку.

Максимальне значення на енергоспоживання мають розмір зернівки, радіус кривизни та вологість подрібнюваного матеріалу (значення їх квадратів).

Більшою мірою з перерахованого на енергоспоживання надає позитивний вплив радіус кривизни ($b_{22} > b_{11}$), ніж розмір матеріалу, що подрібнюється. Негативний вплив – у вологості подрібнюваного матеріалу, оскільки $|b_{33}| > |b_{22}| > |b_{11}|$. При збільшенні вологості вище за допустиму норму $w = 17\%$ відбувається змінання зернівки, а не сколювання та налипання на поверхню подрібнюючого робочого органу.

3.7 Висновки до третього розділу

Проаналізувавши результати експериментальних досліджень, можна зробити висновки:

1. Зміна форми стінок наскрізних пазів подрібнювача зерна сприяє орієнтації зернівки вздовж стінки наскрізного паза довгою віссю у напрямку до зони подрібнення, це забезпечує різання зернівки за найменшим перерізом, після першого ступеня подрібнення отримуємо сегменти зернівки із заданим розміром.

2. В результаті експериментальних досліджень підтверджено раціональне використання ріжучих елементів у формі циклоїди з утворюючим колом 4,81 мм.

4. В результаті проведених робіт виготовлено робочі органи подрібнювача. Апробовано робочі органи подрібнювача у лабораторних умовах:

а) питома енергоємність процесу подрібнення зернових культур пропонованими робочими органами знижується на 11,9% за рахунок підвищення продуктивності подрібнювача за незмінного енергоспоживання;

б) вологість подрібнюваного матеріалу істотно впливає на питому енергоємність процесу подрібнення: при зростанні вологості зернових культур споживання енергії на процес подрібнення підвищується, проте тенденція зниження енергоємності процесу подрібнення зберігається;

в) за рахунок виконання стінок робочих пазів подрібнювача за формою циклоїди при русі зернового матеріалу до області подрібнення відбувається вирівнювання гранулометричного складу та зниження пилоподібної фракції.

4 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1 Екологічна експертиза

З метою уникнення виникнення негативних наслідків для навколишнього середовища при розробці та впровадження різних технічних або технологічних систем здійснюється їх екологічна експертиза, спрямована на перевірку їхньої відповідності принципам і правилам охорони навколишнього середовища та ефективного природовикористання.

До основних задач екологічної експертизи можна віднести: науково-обґрунтоване визначення ступеня відповідності розроблених рішень згідно діючих екологічних норм перед їх затвердженням у профільних державних органів з питань екології та раціонального природокористування; уникнення або зменшення вірогідності негативного впливу на екологічну систему вже існуючих чи запроектованих виробничих об'єктів.

Основними видами екологічної експертизи є державна та громадська. Її проведення та прийняття до уваги складених на її основі висновків є необхідною умовою законної роботи виробничих об'єктів або інших форм діяльності, які потенційно можуть чинити вплив на стан навколишнього середовища. Законодавчою базою здійснення екологічної експертизи є два нормативно-правових документа: Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» затверджений Верховною Радою України 25 червня 1991 року та прийнятий 9 лютого 1995 Закон України «Про екологічну експертизу» [13,14].

В основу екологічної експертизи покладений принцип гармонійного взаємозв'язку між екологічними та економічними інтересами, чіткого дотримання державних та законодавчих норм і правил у природоохоронній сфері.

Громадська експертиза може бути здійснена у довільній сфері діяльності, що потребує надання обґрунтованих висновків про екологічну безпеку реалізації того чи іншої проекту, за ініціативною різних форм громадських організацій та формувань. Даний вид експертизи може проводитися паралельно з державною експертизою

шляхом створення на добровільній основі симбіозу постійних або тимчасових експертних об'єднань громадських колективів [33].

Об'єкт даної екологічної експертизи – процес подрібнення зерна злакових культур.

Даний технологічна операція за своєю потенційною загрозою для навколишнього середовища відноситься до найбільш безпечніших та екологічно чистих видів виробничої діяльності. Це обумовлено мінімально низькою кількістю викидів забруднюючих речовин, що утворюються внаслідок реалізації технологічного процесу подрібнення зерна.

Основним джерелом забруднення для даної операції є викиди в атмосферу зважених гігроскопічних частинок або пилу, які спрямовуються в повітряний басейн з аспіраційних очищувальних систем та систем вентиляції повітря з виробничих приміщень. Відповідно до прийнятих на законодавчому рівні гранично допустимих концентрацій (ГДК) шкідливих речовин в атмосферному повітрі кількість зважених частинок повинна коливатися в межах 0,05...0,5 мг/дм³. [14]

Для запобігання перевищенню рівня концентрації пилу в повітрі необхідно постійно проводити контроль за технічним станом вентиляційного обладнання, періодично проводити моніторинг якості повітря, запровадити систему пиловідкремлюючих засобів для очищення повітряного потоку.

Негативним наслідком надмірного перевищення концентрацій пилу в повітрі є можливість виникнення вибухо- та пожежонебезпечних ситуацій на виробництві.

До заходів щодо запобігання та локалізації пилових вибухів відносяться:

- суворе дотримання технологічної дисципліни, правил, положень та виробничих інструкцій;
- підтримання технологічного, електротехнічного, транспортного і допоміжного устаткування в технічно справному стані;
- зберігання сировини в тих складах та бункерах, які для цього призначені;
- герметизація обладнання і комунікацій;
- ефективна робота аспіраційних мереж;

- систематичне прибирання пилу з підлоги, стін, обладнання, будівельних конструкцій;
- найсуворіше виконання правил ведення робіт з відкритим вогнем, у тому числі зварювальних;
- неухильне дотримання режиму куріння (тільки у відведених місцях);
- захист від статичної електрики.

Технологічний процес подрібнення характеризується поєднанням значної кількості виробничого обладнання, яке є джерелом надмірного шуму та вібрацій. Для зниження рівня шуму до санітарно-гігієнічних норм передбачаємо використання спеціальних шумо- та вібраційнопоглинальних подушок, що встановлюємо під технологічне обладнання, а також застосування операторами індивідуальних засобів захисту - протишумних навушників.

Кількість стічних вод (виробничого і господарсько-побутового характеру), що утворюються в процесі виробничого процесу, не є критичною та особливо небезпечною для забруднення ґрунту чи водойм, але для зниження вірогідності такого зараження передбачаємо застосування комплексу заходів по обробці цих стоків через механічні, хімічні та біологічні очисники.

У зв'язку з високим рівнем забрудненості стічних вод необхідно виконати:

а) відведення оборотних вод із системи мийки автомобілів готової продукції на очисні споруди виробничих стоків;

б) передбачити заходи щодо очищення поверхневих стічних вод перед скиданням у відкритті водоймища до допустимих ГДК;

в) для забезпечення нормативних вимог можлива доочищення поверхневих (дошових, талих, поливомийні) стічних вод з території об'єкта після локальних очисних споруд дошового стоку перед скиданням у водоймища з використанням водовідвідної каналізації в якості споруд природного біологічного очищення.

Таким чином, якщо всі вище перелічені заходи будуть виконуватися належним чином, то технологічний процес подрібнення зерна буде екологічним і не матиме негативного впливу на оточуюче навколишнє середовище або буде зведено до мінімуму.

4.2 Охорона праці

4.2.1 Актуальність проблеми охорони праці у виробничому середовищі

Для новітнього суспільства притаманно користуватися великою кількістю технічних засобів, що полегшують та задовольняють життєві потреби людини. Дані засоби з постійним своїм розвитком все більше стають автоматизованими та енергонасиченими. Але при цьому центральним суб'єктом будь-якої технічної системи є людина, що здійснює експлуатацію, обслуговування, управління та контроль над технічними засобами даної системи [2].

Діяльність людини тісно пов'язана з його фізичним існуванням. Так, на трудову діяльність людини у виробничому середовищі та побуті припадає значна частка його життя за деякими даними вона становить 50%. Зважаючи на доволі значний відсоток своєї зайнятості на виробництві зростає вірогідність отримання травм та опинитися в небезпечних ситуаціях, що можуть загрожувати його життю або фізичному здоров'ю.

Трудова діяльність у виробничій сфері – вид виробничої діяльності, для якої характерно наявність значного рівня небезпеки, що обумовлено насиченістю на виробництві різних енергоємного обладнання та устаткування. З аналізу виробничих травм, аварій, профзахворювань, нещасних випадків з різними наслідками встановлено, що головною причиною їх виникнення є недотримання або нехтування правил охорони праці, що обумовлено відсутністю ґрунтовних знань про безпеку роботи у виробничому середовищі. При цьому одним із головних чинників у виникненні більшості небезпечних ситуацій є, беззаперечно, неправильна поведінка людина у трудовій своїй діяльності [3].

Для виробничої діяльності притаманне дефініція – виробнича безпека. Безпека праці визначається сукупністю заходів захисту людини від небезпечних ситуацій, які виникають в робочому середовищі в певному виробничому процесі або технічному об'єкті. Безпека життєдіяльності у виробничій сфері може бути позначена поняттям – охорона праці. Під цим поняттям слід розуміти систему нормативно-правових актів, організаційних, технічних, економічних, гігієнічних підходів та засобів, що сприяють

безпеці праці, збереження працездатності людини та її здоров'я у виробничій сфері. Безпека праці обумовлена застосуванням методів та засобів виробничої санітарії виробничої безпеки та гігієни праці.

Охорона праці покликана вирішувати декілька завдань: виокремлення потенційно небезпечних та шкідливих факторів у виробничій сфері, розробка пропозицій та рекомендацій щодо створення запобіжників від появи та розвитку небезпечних та шкідливих виробничих факторів, визначення пропозицій щодо організаційних підходів до забезпечення безпеки праці та керування охороною праці на виробничих об'єктах, чітке формування плану дій при появі небезпек. З виникненням небезпеки умови праці повинні бути так організовані, щоб уникнути негативного впливу на працюючих. Але на практиці це часто не є повністю досяжним або економічно виправданим. Зважаючи на цей факт, при проектуванні новітнього устаткування або обладнання намагаються створити найбільш безпечні машини, прилади, технічні засоби, щоб мінімізувати ризик появи небезпечних ситуацій чи аварій. Діючі нормативи безпеки розрізняються на: гранично допустимі концентрації шкідливих речовин хімічної або біологічної природи у повітряному, водяному та інших середовищах; гранично допустимі рівні впливу шкідливих виробничих факторів фізичної природи походження, серед яких виділяють – вібрація, шум, електромагнітні, електростатичні, термічні випромінювання, а також звукові випромінювання різного частотного та амплітудного діапазону [16].

Основою законодавчої бази України у галузі охорони праці та безпеки виробничих процесів є Закон України «Про охорону праці», Конституція України, зведена збірка законів про працю, а також створенні на їх основі ряд нормативно-правових документів і відомчих і внутрішновиробничих правил та норм [2].

4.2.2 Організація безпечного виконання робіт відповідно до правил на всіх етапах трудових, виробничих і технологічних процесів

Реалізація виробничого процесу подрібнення зерна пов'язано з використанням значної кількості технологічних машин та технічного обладнання, зокрема бункерів для зберігання сировини та готової продукції, підйомно-транспортних засобів та

машин, енергоємні машини з поверхневої обробки зерна. Усі перелічені машини є потенційним джерелом виникнення небезпечних ситуацій, що може негативним чином призвести до отримання різних видів травм та ушкоджень робітників, що обслуговують та контролюють їх роботу.

Для упередження появи небезпечних та шкідливих ситуацій при здійсненні виробничого процесу подрібнення зерна приведемо перелік примітивних заходів та підходів, що виключають їхню появу або мінімізують наслідки від їх виникнення та розвитку.

Накопичувальні ємності, бункери та силоси, слід закривати суцільним покриттям з обладнанням в них завантажувальних лазів із обмежувальними ґратами, що герметично закриваються та зачиняються на замок.

Усі бункера повинні бути обладнані аспіраційним обладнанням та іншим застосуванням, що упереджає викиди запиленої маси повітря при їх завантаженні зерном, готовою продукцією або іншими сипучими матеріалами.

Проведення моніторингу температури продуктів у силосах повинен здійснювати із залученням стаціонарних чи мобільних засобів термометрування. Опускатися всередину силосів категорично не допускається.

Не допускається одночасне здійснення операцій зі завантаження зерна в металеві ємності та його вивантаження з неї, а також паралельне здійснення дій, спрямованих на завантаження, вивантаження та аерації.

Усі операції, що проводяться на складах по зберіганню сипкого матеріалу, повинні бути повністю механізовані та здійснюватися у відповідності до технологічного процесу.

Розвантаження та завантаження зерна або продуктів його переробки здійснюють в механічний спосіб за використанням підйомно-транспортного обладнання згідно вимог Правил охорони праці під час завантажувально-розвантажувальних робіт.

Вантажі, що переносяться масою більше 80 кг в упаковці в горизонтальному спрямуванні, під кутом чи вздовж вертикалі застосовують спеціальні машини. У випадку переміщення вантажу по похилій поверхні, її ухил не повинен бути більше

1:3 при висоті підйому не більше 3 м. При потребі переміщення вантажу по вертикалі на висоту 3 м здійснюється в механічний спосіб.

Устаткування, в якому здійснюється механічний рух конструктивних елементів, повинно буде сконструйовано таким чином, щоб уникнути появи іскріння при терті або ударі деталей машин між собою.

Технологічне обладнання повинно бути заземлене для недопущення появи на його зовнішній поверхні корпусу зарядів електростатики в небезпечних кількостях.

Рухомі елементи виробничого обладнання повинно бути закрито від вільного доступу до них спеціальними захисними кожухами.

Живильні бункера оснащуються пристосуванням, що запобігають зависанню матеріалу, що завантажується. В період активного завантаження категорично не допустимо очищати завали матеріалу над рухомими елементами живильників.

Запуск обладнання після зупинки на чергове технічне обслуговування або ремонт виконується після проведення пусконаладжувальних робіт. Обладнання перевіряється на: правильність компонування та надійне закріплення конструктивних елементів, відсутність в обладнанні предметів, що не є складовими конструкції машини, функціонування змащувальних систем, повноцінне комплектування гнучких механічних передач, справність та наявність необхідного захисного огороження, справний стан запірних та герметизуючих кришок, люків, пристроїв, узгоджене за електричними характеристиками запобіжної автоматики зі споживачами електричної енергії, що живляться через цю автоматику.

Транспортне, аспіраційне, технологічне обладнання та самопливне трубопроводи маркують у відповідності до технологічної схеми. Написи повинні бути чітко відтворенні та розташовуватися у видних місцях.

Подрібнювальний верстат повинен бути встановлений на віброізолюючих підставках.

Не допускається запуск подрібнювальних машин з прибраними головками, не роботоздатними натяжними засобами, без абразивних кругів, з недостатньо надійним кріпленням абразивних робочих органів.

Робочі органи подрібнювачів не повинні містити тріщини чи інших механічних пошкоджень. Диски та вали попередньо балансують як окремо, так і разом з привідними ротором.

Потрібно відслідковувати за рівномірністю руху робочого органу верстату. У випадку виникнення посторонніх звуків або не характерного шуму верстат потрібно зупинити для огляду.

У вихідній горловині подрібнювача розміщується відбивач для уникнення розкидання продукту.

Не припустимо ловити руками сторонні предмети, що потрапляють у робочу область верстата, до повноцінної зупинки верстату. Для виконання очищення технологічних зазорів між засувкою та робочими органами використовують спеціальні скребки.

Рівень шуму у виробничих приміщеннях не повинен бути перевищений за гранично допустимий рівень, вказаний у відповідних санітарних нормах. У відповідності до згаданих норм температура повітря в приміщенні повинна перебувати в межах 19-23°C, швидкість повітря – 0,5...0,9 м/с, показник відносної вологості – 30-70%.

Приміщення з розташованим технологічним обладнанням відноситься до категорії особливої небезпеки застосуванням електроустановок. Усе електротехнічне обладнання повинно бути ізольоване, мати надійне заземлення, захищене огорожувальними щитками. Кожна установка обладнується пускачем з кнопками «Пуск» та «Стоп» з відповідним кольоровим позначенням.

4.2.3 Розробка комплексу організаційних та технічних заходів з охорони праці та пожежної безпеки

Робітник в процесі реалізації покладених на його професіональних обов'язків повинен :

- знати будову та правила експлуатації обладнання, яке знаходиться під його керуванням та обслуговуванням;
- знати призначення окремих складових одиниць та елементів будови;

- знати технологічний процес теплової обробки зерна під час проведення ГТО;
- здійснювати контроль за режимними параметрами роботи обладнання, аспірації, припливно-витяжної вентиляції, теплоносія, роботу засобів автоматики і блокування;

- правильно використовувати спецодяг та засоби індивідуального захисту;
- знати підходи до надання першої медичної допомоги при виникненні нещасних випадках;
- відповідати за роботу на своїй ділянці.

Обслуговуючий персонал відповідно до прийнятих норм забезпечення спецодягом та засобами індивідуального захисту повинен мати:

- костюм з бавовняного матеріалу з пилонепроникної тканини (ГОСТ 12.4.085-80, ГОСТ 12.4.086-80);
- шоломом бавовняним з пилонепроникної тканини;
- черевиками шкіряними;
- рукавицями бавовняними;
- респіратором;
- в холодну пору року - курткою на утеплювальній прокладці (ГОСТ 12.4.088-80).

Працівник, який обслуговує сушилку, зобов'язаний знати і дотримуватися:

- посадової інструкції;
- правила пожежної безпеки;
- правила особистої гігієни.

Для покращення умов виробничої безпеки та недопущення появи небезпечних ситуацій слід передбачити такі заходи з охорони праці:

1. При боротьбі з надмірним пиловиділенням:

- раціональне поєднання технологічних процесів з мінімальними викидами пилоутворюючих компонентів в повітряне середовище;
- проведення вологого знепилення робочих зон;
- підтримання в чистоті приміщень та технологічного обладнання;
- застосування індивідуальних засобів захисту.

2. Для боротьби з шумовим ефектом:

- використання змащувально-мастильних матеріалів, що також сприяє зменшенню зносу та збільшення ресурсу роботи;
- організаційно-технічні заходи щодо дотримання системи профілактичного огляду, проведення технічного обслуговування та ремонту обладнання;
- спланувати оптимальне співвідношення періодів роботи та відпочинку.

3. Для запобігання появи нещасних випадків та аварійних ситуацій продовжувати превентивні заходи:

- отримувати консультативні послуги з питань охорони праці;
- отримувати аргументовані роз'яснення щодо правильних підходів до експлуатації технологічного обладнання, що вводиться до роботи та вже встановленого;
- проведення періодичних перевірок рівня знань робітників з правил охорони праці на робочих місцях.

Для поліпшення стану виробничої безпеки та уникнення аварій і нещасних випадків під час здійснення виробничого процесу слід також звертати пильну увагу на внутрішніх організаційних документи виробничого підприємства.

4.3 Техніко-економічне обґрунтування досліджень

Доцільність впровадження нової машини для процесу механізації подрібнення зернофуражу у серійне виробництво оцінюється його економічною ефективністю. Відповідно до ГОСТ 23728 – 88 економічну ефективність визначають через показники готового економічного ефекту та від економічного ефекту застосування нової моделі техніки протягом усього її використання.

Як базова модель використаний подрібнювач відцентрово-роторного типу ІЛС-0,15.

Завдяки тому, що пропонована машина підвищує ККД процесу подрібнення, зменшуються енерговитрати на одиницю продукції при збереженні якості продукту подрібнення, підвищується продуктивність.

Річний економічний ефект містить сукупність показників зниження експлуатаційних витрат та збільшення продуктивності праці.

Економічна доцільність використання нового подрібнювача фуражного зерна порівняно з прототипом ІЛС-0,15 проведено на підставі даних, отриманих в результаті лабораторних випробувань, поданих у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Дані щодо розрахунку економічної ефективності

| Показник | ІЛС-0,15 | Запропонований пристрій |
|---|----------|-------------------------|
| Часова продуктивність, т/год | 0,09 | 0,101 |
| Встановлена потужність, кВт | 0,8 | 0,8 |
| Питомі витрати енергії, кВт·год/т | 8,3 | 7,1 |
| Річний фонд робочого часу, год | 1760 | 1760 |
| Річна виробітка, т | 158,4 | 190,3 |
| Кількість обслуговуючого персоналу, люд | 1 | 1 |
| Вартість машини, грн | 35000 | 35000 |
| Маса, кг | 30 | 30 |

Річна економія [19]:

$$\Delta Z_e^{річн} = ((Z_б + E_n K_{нб}) - (Z_н + E_n K_{нн})) A_p, \quad (4.1)$$

де $Z_б$, $Z_н$ – питомі експлуатаційні витрати при базовому та новому варіантах, грн./т;

E_n - нормативний коефіцієнт капіталовкладень, $E_n = 0,15$ згідно [98];

$K_{нб}$, $K_{нн}$ – питомі капіталовкладення базового та нового варіантів конструкцій, грн./т;

A_p - річний обсяг роботи установки в розрахунковому році, т.е.

Питомі експлуатаційні витрати чи собівартість одиниці виробленої продукції (однієї тони подрібненого зернофуражу) визначають за формулою [19]

$$Z = Z_{ПЛ} + Z_A + Z_{ТО} + Z_E + Z_{ДПМ} + Z_з, \quad (4.2)$$

де $Z_{ПЛ}$ – витрати на обслуговування персоналу;

Z_A – амортизаційні відрахування на реновацію машин;

$Z_{ТО}$ – витрати на технічне обслуговування та ремонт;

Z_E – витрати на електроенергію;

$Z_{\text{ДПМ}}$ – витрати на допоміжні матеріали;

Z_3 – витрати зберігання машини.

Витрати на заробітну плату обслуговуючого персоналу розраховують за формулою [19]

$$Z_{\text{ПЛ}} = Z_{\text{ОП}} + Z_{\text{СОЦ}}, \quad (4.3)$$

де $Z_{\text{ОП}}$ – витрати на оплату виконання певного обсягу робіт;

$Z_{\text{СОЦ}}$ - відрахування на соціальні потреби.

Витрати на оплату виконання певного обсягу робіт обчислюють [19]:

$$Z_{\text{оп}} = \frac{ЛС_{\text{тар}} K_{\text{сл}} \cdot (1 + K_{\text{доп}})}{W_{\text{год}}}, \quad (4.4)$$

де $Л$ – кількість обслуговуючого персоналу, чол ($Л = 1$);

$C_{\text{тар}}$ – тарифна годинна ставка ($C_{\text{тар}} = 6$ руб. / Год);

$K_{\text{сл}}$ – коефіцієнт складності робіт ($K_{\text{сл}} = 1,3$);

$K_{\text{доп}}$ – розмір додаткової оплати працівників (приймається $K_{\text{доп}} = 15\%$);

$W_{\text{год}}$ – годинна продуктивність/год.

Відрахування на соціальні потреби ($Z_{\text{СОЦ}}$) залежать від заробітної плати, розраховують їх за формулою [19]

$$Z_{\text{соц}} = \frac{Z_{\text{оп}} K_{\text{от}}}{100}, \quad (4.5)$$

де $K_{\text{от}}$ – норматив відрахувань на соціальні потреби:

Витрати праці на технічне обслуговування та ремонт машин оцінюються трудомісткістю цих операцій, для порівнюваних машин через їх конструктивну схожість вони будуть однаковими (табл. 4.2).

Таблиця 4.2 – Загальні витрати праці

| Показник | ІЛС-0,15 | Запропонований пристрій |
|--|----------|-------------------------|
| Річні витрати праці на обслуговування основного процесу, люд-год | 1530 | 1530 |
| Річні витрати праці на техобслуговування та ремонт, люд-год. | 45 | 45 |
| Всього | 1575 | 1575 |

Суму амортизаційних відрахувань на реалізацію розраховують за формулою [19]

$$Z_A = \frac{B \cdot H_A}{100 T_{\text{річн}} W_z}, \quad (4.6)$$

де B - балансова вартість машини, руб.;

H_A – норма амортизаційних відрахувань ($H_A = 10\%$);

$T_{\text{річн}}$ – нормативне річне завантаження машини, год.

Балансова вартість серійної машини залежить від віддаленості замовника від заводу-виробника. У нашому випадку при купівлі обладнання у дилерів заводу-виробника вартість визначатиметься за формулою [19]

$$B = B \cdot \xi, \quad (4.7)$$

де B - вартість установки у регіонального представника, грн;

ξ – коефіцієнт, що враховує інші витрати на транспортування та монтаж обладнання, приймаємо рівним 1,2.

Визначаємо ціну у пропонованого подрібнювача Ц [19]

$$Ц = C_M \cdot H \cdot E \cdot 1,15 + B_D, \quad (4.8)$$

де C_M – вага машини без покупних вузлів та деталей, кг (вага запропонованої моделі без електродвигуна $C_H = 5$ кг);

H – нормативна вартість 1 кг маси конструкції, при річному випуску 5000 шт., грн. ($H = 5430$ грн.);

E – коефіцієнт відхилення преїскурантної ціни від собівартості машини;

B_D – балансова вартість покупних вузлів та деталей конструкції, руб.

Відповідно (4.7) балансова вартість покупних вузлів та деталей, зважаючи на однотипність – у новій моделі $B_c = 53000$ грн.; у старій моделі $B_n = 53000$ грн.

Розраховують витрати на технічне обслуговування та ремонт машини, що припадають на 1 тону зернофуражу [19]

$$Z_{TO} = \frac{B \cdot H_{TO}}{100 \cdot T_{\text{річн}} \cdot W_{\text{год}}}, \quad (4.9)$$

де H_{TO} – норматив затрат на технічне обслуговування та ремонту машин ($H_{TO} = 14,5\%$).

Знаходять питомі витрати електроенергії [19]

$$Z_e = q_e \cdot B_e, \quad (4.10)$$

де q_e – питомі витрати енергії, кВтгод/т;

B_e – вартість 1 кВтгод енергії.

Витрати на допоміжні матеріали $Z_{\text{доп}}$ та зберігання машини Z_3 незначні, тому їх можна не враховувати.

Таблиця 4.3 – Експлуатаційні витрати

| Показник | ІЛС-0,15 | | Запропонований подрібнювач | |
|-------------------------------|-----------------------|--------------------|----------------------------|--------------------|
| | Питомі витрати, грн/т | Річні витрати, грн | Питомі витрати, грн/т | Річні витрати, грн |
| Оплата праці з відрахуваннями | 160,2 | 233547 | 190 | 34458,2 |
| Амортизаційні відрахування | 34,2 | 5420,5 | 50,3 | 9089,1 |
| Техобслуговування та ремонт | 50,6 | 7945,1 | 61,3 | 10995,2 |
| Електроенергія | 38,5 | 6081,65 | 26,8 | 4876,9 |
| Всього | 283,2 | 37901,7 | 328,4 | 59419,2 |

Питома капіталовкладення визначається ставленням капітальних вкладень до річний обсяг роботи [19]

$$K_n = \frac{K}{A_m}, \quad (4.11)$$

де K – величина капіталовкладень, грн.

Зменшення енергоємності нової конструкції оцінюють через річні економії споживання електроенергії [19]

$$\Delta E_{el}^{річн} = (E_{el}^c - E_{el}^n) A_z, \quad (4.12)$$

де $E_{el}^c - E_{el}^n$ - енергоємність процесу серійної машини та нової моделі, кВтгод/т.

Встановлюють зменшення металоємності нової машини [19]

$$\Delta M_M = (M_{\text{шт}}^c - M_{\text{шт}}^n), \quad (4.13)$$

де $M_{\text{шт}}^c, M_{\text{шт}}^n$ - питома металоємність серійної машини та нової моделі, кг/(т/год).

Питома металоємність машини [19]:

$$M_{\text{шт}} = \frac{M_{\text{кон}}}{W}, \quad (4.14)$$

де $M_{\text{кон}}$ – загальна конструктивна маса машини, кг.

Для зручності проведення розрахунку та більшості наглядності отриманих даних результати розрахунку представлені у таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Зниження експлуатаційних витрат з врахуванням капіталовкладень

| Показник | ІЛС-0,15 | Запропонована модель |
|--|----------|----------------------|
| Капіталовкладення, грн | 58000 | 58000 |
| Прямі експлуатаційні витрати, грн. | 41054,2 | 39933,8 |
| Питомі капіталовкладення, грн/т | 265,3 | 231,8 |
| Питома річна економія витрат, грн/т | – | 33,6 |
| Загальні витрати праці, люд·год | 1575 | 1575 |
| Питомі витрати праці, люд·год/т | 11,4 | 9,9 |
| Річна витрата електроенергії, кВт·год | 1437,3 | 1437,3 |
| Річна витрата електроенергії, кВт·год/т | 8,3 | 7,4 |
| Питома економія споживання електроенергії, кВт·год | – | 0,9 |
| Річна економія споживання електроенергії, кВт·год | – | 173,2 |
| Питома металоємність конструкції, кг/(т/год) | 55,5 | 50 |

За даними таблиці 4.4 варто зробити висновок, що за рахунок зниження експлуатаційних витрат на 5224,4 грн., зниження витрати електроенергії на 173,1 кВт·год і питомої металомісткості на 5,5 кг/(т/год) розрахункова річна економія витрат від застосування подрібнювача нової конструкції при подрібненні фуражного зерна проти прототипом ІЛС-0,15 – 35956,76 грн.

4.4 Висновки до четвертого розділу

1. На основі проведеної екологічної експертизи щодо виявленню ступеня негативного впливу технології подрібнення зерна на стан природного навколишнього середовища не було встановлено фактів можливого радіоактивного, бактеріального, хімічного та інших видів забруднень

2. Основним об'єктом дослідження на предмет виявлення та упередження небезпечних ситуацій та дотримання вимог охорони праці є техніка безпека та правила поведінки при реалізації технологічного процесу подрібнення зерна злакових культур.

3. За рахунок зниження експлуатаційних витрат на 5224,4 грн., зниження витрати електроенергії на 173,1 кВт·год і питомої металомісткості на 5,5 кг/(т/год) розрахункова річна економія витрат від застосування подрібнювача нової конструкції при подрібненні фуражного зерна проти прототипом ІЛС-0,15 – 35956,76 грн.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. За результатами досліджень було з'ясовано, що при переміщені при русі зернового матеріалу вздовж стінок пазів робочих органів подрібнювача окремо взяте зерно розташовується довгою віссю в бік виходу. З врахуванням цього вона розділяється на сегменти певного розміру, що розгортаються поверхнею зрізу до площини різання на другій ступені диспергування. Подрібнення зерна відбувається переважно за найменшим перерізом.

2. Підтверджено оптимальне використання ріжучих компонентів у вигляді циклоїди з утворюючим колом 4,81 мм. Обґрунтовано схему подрібнювача зерна зі стінками наскрізних пазів робочих органів, виконаних у формі циклоїди.

3. Аналіз експериментальних даних показує:

а) питома енергоємність процесу подрібнення зернових культур знижується в середньому на 11,9% за рахунок підвищення продуктивності подрібнювача на 10,7%;

б) вологість подрібнюваного матеріалу істотно впливає на питому енергоємність процесу подрібнення, при зростанні вологості зернових культур споживання енергії підвищується, проте тенденція зниження енергоємності на пропонованих робочих органах зберігається;

в) в результаті підбору раціонального ріжучого клину та виконання стінок наскрізних пазів по циклоїді на наскрізних пазах робочих органів подрібнювача фуражного зерна відбувається вирівнювання гранулометричного складу, зниження пилоподібної фракції, цілі зерна в продукті помелу відсутні..

4. Детальне опрацювання питань впливу розробленого технологічного процесу подрібнення зерна на стан природнього навколишнього середовища не виявило потенційних загроз в порушенні екологічних норм та стандартів. У ході проведення аналізу наявних потенційних небезпек при подрібненні зерна були окреслені ймовірні причини виникнення небезпечних ситуацій та випадків. Більшість травмонебезпечних і аварійних ситуацій було піддано аналізу та надано рекомендації по їх недопущенню та профілактики

5. За рахунок зниження експлуатаційних витрат на 5224,4 грн., зниження витрати електроенергії на 173,1 кВт·год і питомої металомісткості на 5,5 кг/(т/год) розрахункова річна економія витрат від застосування подрібнювача нової конструкції при подрібненні фуражного зерна проти прототипом ІЛС-0,15 – 35956,76 грн.