

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерно-технологічний

Кафедра загальнотехнічних дисциплін

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи на здобуття ступеня вищої освіти

« магістр »

бакалавр, магістр

на тему: « Удосконалення робочого процесу подрібнення фуражного зерна »

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

Тищенко В.В.

Прізвище та ініціали здобувача вищої освіти

Керівник: Брикун О.М.

Прізвище та ініціали керівника

Рецензент:

Прізвище та ініціали рецензента

Полтава – 2021 року

ВСТУП

У сучасних умовах аграрії тваринницької спеціалізації стали відмовлятися від придбання комбікормів та створюють їхнє виробництво на місцях. Цей факт такої організації кормо виробництва дозволяє значно знизити витрати на транспортування як сировини, так і готового продукту, а також ораціональніше використовувати ресурси місцевих товаровиробників.

На жаль, ряд недоліків та застаріле, недосконале обладнання привели до факту, що понад 60 % використовуваного та споживаного аграріями тваринництва зерна, що використовується в кормових цілях, подається тваринам у вигляді однорідного (монокорму), що впливає на зниження ефективності його використання.

Правильність приготування кормів для тваринництва значною мірою впливає на ефективність виробництва продукції тваринницької галузі.

При визначенні частки використання концентрованих кормів у загальному балансі кормо виробництва є показник у 30-35 %.

Значним чинником є спосіб подрібнення, як провідний у процесі підготовки зернових кормових культур до згодовування худоби.

Цей процес представляється як дуже енергоємний і трудомісткий і за середньостатистичними даними становить близько 60% від сумарних витрат праці у заготівлі кормів та приготуванні кормо сумішей.

На сьогоднішній день як основне обладнання для подрібнення фуражного зерна у більшості господарств використовуються дробарки молоткового типу.

Сутність проблеми полягає в тому, що збільшуються сучасні вимоги до якості зерна, що отримується у процесі подрібнення, а також необхідності знизити до мінімуму метало- та енерговитрати. Проте використовувані в сучасності традиційного типу подрібнюючі пристрої та теоретичні знання науки і техніки у цій галузі не дозволяють забезпечити удосконалення даного процесу.

Принципово новим, на відміну від молоткових дробарок, є принцип роботи відцентрово-ударних подрібнювачів, в основу яких закладено наступне. У відцентровому полі зерну надається рух, внаслідок удару об перешкоду

(нерухому або рухому) зерно руйнується.

Незважаючи на згадане, у процесі подрібнення фуражного зерна використання цих видів подрібнювачів не практикуються. Підставою є низька якість продукції, зокрема його неоднорідність, і недостатність теоретичної та експериментальної бази дослідження.

Актуальним є розгляд питання щодо розробки подрібнювачів відцентрово-ударного типу, які дозволяють отримати якісний, більш однорідний склад готового кормового продукту, при значному зниженні енерговитрат процесу. Результатом може бути нова конструктивна розробка з покращеними робочими органами, що дозволяє реалізувати нову технологічну схему руйнування зерна.

При аналізі теоретичної бази досліджень на основі літературних джерел виявлено, що проблеми практики використання сучасних подрібнювачів зернових кормів потребують подальшого вивчення та удосконалення для оптимізації параметрів енерговитрат.

Наявні в більшості аграрних господарств подрібнювачі технічно не досконалі, зокрема мають ряд недоліків основними з яких є: не можливість одержання продукту належної якості з більш вирівняним гранулометричним складом, значні габарити, великий вміст пилоподібної фракції у готовій продукції. Таким чином усунення вищезазначених недоліків можливе при розробці нових типів подрібнювальних машин, однією з яких є ударно-відцентровий подрібнювач.

Метою досліджень є підвищення ефективності процесу подрібнення фуражного зерна за рахунок удосконалення відцентрово-ударного подрібнювача.

Для досягнення мети необхідно вирішити наступні завдання:

- розробити нове технічне рішення відцентрово-ударного подрібнювача;
- встановити аналітичні залежності швидкості руху зерна по вертикальній поверхні диска та основи зуба ножа, а також математичну модель питомої енергоємності процесу подрібнення зерна в установці;
- обґрунтувати теоретично та експериментально оптимальні

- конструктивні параметри, а також режими роботи дослідного подрібнювача, що дозволяють одержувати матеріал необхідної якості;
- визначити техніко-економічну ефективність використання запропонованого технічного рішення.

Об'єкт дослідження - технологічний процес подрібнення фуражного зерна в розробленій установці, її елементи та основні робочі органи.

Предмет досліджень – закономірності впливу основних конструктивних параметрів подрібнювача на ефективність процесу подрібнення фуражного зерна.

Теоретична та практична значущість. Результати теоретичних та експериментальних досліджень можуть бути використані при проектуванні, налаштуванні та експлуатації відцентрово-ударних дробарок. Застосування запропонованої конструкції відцентрово-ударного подрібнювача дозволяє отримати готовий продукт необхідної якості з одночасним зниженням питомої енерго- та металомісткості більш ніж у 1,5 рази порівняно з існуючою та прийнятою технологією процесу подрібнення фуражного зерна.

Методика досліджень. Теоретична частина досліджень виконана з використанням закономірностей та методів теоретичної механіки, опору матеріалів та математичного аналізу. Експериментальні дослідження установки проведено на основі теорії планування експерименту. Результати оброблялися за допомогою методів математичної статистики та пакету прикладних програм.

При проведенні експериментальних досліджень відцентрово-ударного подрібнювача в лабораторних умовах використано стандартні методики із застосуванням математичного моделювання, сучасного обладнання. Обробку експериментальних даних проводили з використанням пакету програм Microsoft Office, Statistica 6, Mathcad 15, Maple 14 та ін.

1 СТАН ПИТАННЯ ТА ВИБІР НАПРЯМУ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.2 Зоотехнічні вимоги до приготування комбікормів

В основі раціону харчування тварин та птиці використовуються комбіновані, а також концентровані корми, раціонний відсоток яких може досягати понад 50 % [5].

У аграрних господарствах України щорічно витрачається на приготування кормів тваринництва фуражного зерна близько десяти мільйонів тонн [6]. Подрібнення зерна є провідною операцією у процесі приготування комбінованих кормів, частку якого припадає витрата електроенергії до 73% загального технологічного процесу [7].

Подрібнення зернової сировини обумовлено фізіологією сільськогосподарських тварин, оскільки швидкість переробки частинок кормів шлунковим соком прямо пропорційно до загальної площі їх поверхні. При подрібненні зерна утворюються безліч часток із більшою загальною поверхнею, що сприяє засвоєнню поживних речовин. На продуктивність тварин значно впливає ступінь подрібнення продукту.

При комплексному аналізі праць вітчизняних та зарубіжних дослідників стандартами були встановлені, а потім надалі регламентовані для різних видів кормів розміри частинок готового продукту, при цьому враховувалися статеві групи сільськогосподарських тварин [9, 13, 16]

Так, за даними вищевказаних джерел, продуктивність свиней можлива при їх годівлі кормами тонкого помелу, при цьому фракція часток повинна змінюватись від 0,5 до 1,0 мм. При вирощуванні ВРХ ефективним використання кормів середнього помелу від 1,0 до 1,9 мм.

Для годування птахів необхідно використовувати корм великого помелу, при необхідному розмірі частинок від 1,8 до 2,5 мм. При зміні вище сказаних розмірів, а також наявність у кормах дуже дрібної (пилоподібної) фракції може призвести до спаду продуктивності на 20-30% продуктивності худоби. [9, 16].

Проведений нами аналіз літературних наукових джерел дозволив зробити комплексний висновок про те, що при згодовуванні худобі тонко і дрібно

подрібненого корму згодом буде призводити до зниження як самого приросту, так і негативного впливу на процеси травлення, у тому числі захворювання органів травної системи.

Отже, оцінку ефективності подрібнення зерна, як матеріалу, слід оцінювати як за показниками енергетичності, так і за показниками якості, тобто, по неоднорідності одержуваного готового корму (продукту), що оцінюється присутністю цілих зерен, а також наявністю дрібних частинок з розмірами до 0,25 мм.

Ефективність згодовування можна збільшити при оптимізації одержуваних розмірів частинок продукту, тобто, зерна для окремих видів тварин відповідно, відповідно до зоотехнічних вимог. Переподрібнення корму негативно позначається на здоров'ї та продуктивності тварин, збільшує енергоємність процесу.

На заводах та підприємствах з виробництва кормів, у господарствах для отримання фуражних кормів і використовують для подрібнення зерна верстати для плющення, дезінтегратори, молоткові дробарки та ін.

Найбільшого поширення набули дробарки молоткові, оскільки вони прості у пристрої. Незважаючи на цю перевагу, вони мають ряд значних недоліків, до яких можна віднести енергоємність (17-25 кВт·год/т), різномірний гранулометричний склад одержуваного готового продукту тощо. [17, 37].

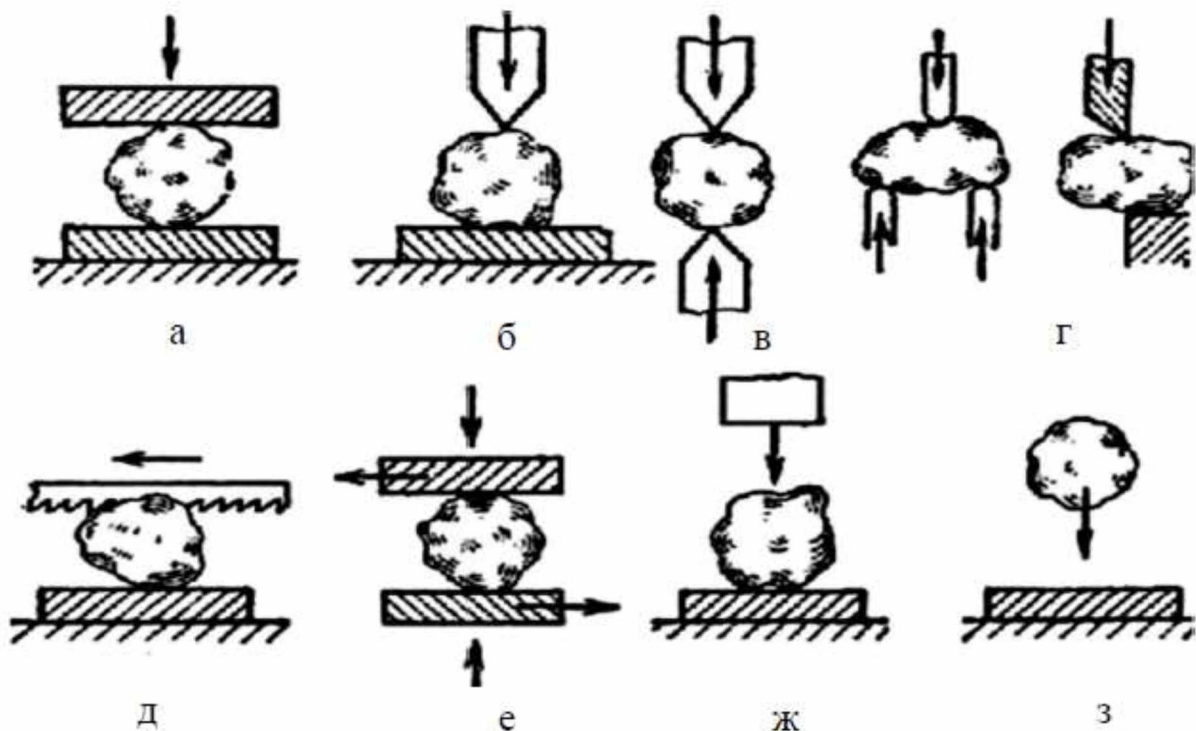
В останні роки в молоткових дробарках при активізації процесу вдосконалення подрібнення зерна можна відзначити ряд шляхів щодо зниження питомих витрат електроенергії на подрібнення зерна і зростання якості підсумкового продукту. До таких можна віднести: розробку принципово нових технологічних схем процесу подрібнення, а також можливість конструктивної розробки принципово інноваційних конструкцій основних робочих органів подрібнювачів, що використовуються, з числа відцентрово-ударних, яким приділяється особлива увага [8].

1.2 Аналіз способів подрібнення фуражного зерна

Подрібнення компонентів є дуже важливою та енергоємною операцією в

загальній технології виробництва та підготовки кормів [17]. Ця операція безпосередньо впливає різного роду витрати і визначає якісні характеристики комбікормів, готової продукції [6].

У науковій та практичній літературі, у виробництві безпосередньо виділяють такі способи подрібнення. До них відносять: розколювання, роздавлення, різання, вільний удар, розламування, стирання, розпилювання, стиснутий удар та ін., що наведено на рис. 1.1 [12]. Від способу подрібнення залежать ефективність процесу та якість одержуваних подрібнених кормів.



а - роздавлення; б - розколювання; в - розламування; г - різання; д - розпилювання; е - стирання; ж - стиснутий удар; з - вільний удар

Рис. 1.1 – Види дроблення фуражного зерна

Вибір способу подрібнення залежить від фізичних, механічних властивостей матеріалу подрібнення, від необхідних параметрів отримати в підсумковій продукції. На рис. 1.1 б показаний процес розколювання. Різання представлено рис. 1.1 г, розпилювання рис. 1.1 д відповідно. При необхідності одержання продукту тонкого подрібнення використовують прийом стирання, який представлений рис. 1.1 е, поєднуючи з прийомом роздавлення - рисунок 1.1 а й ударом (рис. 1.1 ж, з) відповідно [26].

Зерно фуражного призначення проходить процес подрібнення переважно випадків ударом і роздавлюванням, за участю деяких інших способів руйнування. У працях низки дослідників зазначається доказ те, що мінімальна енергоємність складається у процесі удару [10].

Так, у дослідженнях Д. Беренса, проведених на досить крихких матеріалах, встановлено факт того, що роботи на подрібнення при ударі становлять до 42% роботи на подрібнення при роздавлюванні. Цей факт підтверджується працями С.В. Мельникова та вченого-дослідника Ф.Г. Плохова.

Вибір користь ударного подрібнення пропонується у працях В.А. Денисова. Він вважає, що ефективність подрібнення визначається і залежить від часу застосування зовнішніх сил та температурного режиму матеріалу подрібнення. Вченим Барабашкіним В.П. відзначається, що, вартість машин (питома) з ударною дією нижче, ніж вальцових, які працюють на основі принципу роздавлювання, до 2,0 разів, маса знижується в 4 рази, потужність двигунів до 1,6 разів.

Таким чином, на сучасному етапі розвитку техніки та технологій, наявне обладнання для подрібнення зерна одноманітне. Принцип його дії здійснюється за рахунок руйнування зернового матеріалу шляхом зусилля стиснення та зсуву. До таких відносяться молоткові дробарки та вальцові млини. Проте, нині у процесі подрібнення зернового матеріалу, на спеціальних підприємствах актуальними стають ударно-відцентрові подрібнювачі, до яких слід віднести: відцентрові дробарки, дисмембратори, дезінтегратори, при необхідності отримання продукції тонкого помелу - млини струминні та колоїдні.

1.3 Аналіз роботи молоткових дробарок

Молоткові дробарки широко використовуються в аграрному виробництві комбікормів завдяки нескладності конструкції, надійності, простоті обслуговування.

Дані подрібнювачі виробляють продукт з рівномірним подрібненням, мають легке вилучення з дробильної камери, можливість зміни ступеня

подрібнення, просте управління процесом, нескладну заміну деталей, що вийшли з ладу, і можливість подрібнення великого набору матеріалів [23].

Рядом вчених В.І. Сироватка, Н.С. Дорофєєв, В.Р. Алешкін, П.М. Рошин, Л.А. Гафнер та іншими, що вивчали молоткові дробарки, [24, 26, 27, 41,42], було встановлено таке:

- раціональне значення зазору між решетою та кінцями молотків становить не більше 3,5 мм;
- переважну ефективність у порівнянні з іншими мають прямокутні або зі ступінчастими кінцями молотки (пластинчасті), так, найкраща відстань між молотками, що рекомендується, повинна становити в середньому 8 мм;
- решето, у молоткових дробарках має відповідати товщині від 1,5 до 3,0 мм. У випадку, якщо решета мають товщину 3 мм і більше вони гірше просіюють, а якщо менше 1,5 мм то знижуються характеристики міцності;
- найефективнішими визначаються решета, що мають лускату поверхню.

До конструкторських та наукових здобутків сучасності необхідно віднести розробку значної кількості модифікованих молоткових дробарок, що мають масу відмінностей. Зокрема, зміненими кінематичними, технологічними, а також конструктивними параметрами.

У процесі виготовлення якісних комбікормів на заводах, підприємствах традиційно використовуються дробарки, що мають продуктивність від 4 т/год і більше. До таких відносять: ДБ-5, КДУ-2, А1-ДДР, А1-ДМР-20 та ін.

Більшість молоткових дробарок, що випускаються вітчизняними підприємствами, належать до дробарок закритого типу. Усім їм властивий недолік, це отримання неоднорідного гранулометричного складу підсумкового готового продукту, тобто. наявність частинок різного розміру: може бути як пилоподібна фракція, так і цілі зерна.

Це зумовлено тим, що при середній швидкості продукту 0,5 колової швидкості кінця молотка в зоні контакту з молотками, а в зоні контакту з поверхнею решета вона дуже висока і може становити до 0,2.

Частинки великих розмірів розташовуватимуться ближче до поверхні

решета, таким чином ускладнюючи можливість просіювання частинок, що досягли необхідних проходових розмірів. Це само сортування надалі може призвести до переподрібнення продукту, що викликатиме зростання неоднорідності гранулометричного складу, а як наслідок збільшення витрат енергії на процес.

Експериментальні дослідження [28] показують, наскільки ефективно подрібнення в багато стадій при застосуванні проміжної сепарації. Так, при використанні двох стадій подрібнення збільшення діаметра отворів решіт в дробильному апараті мало впливає на зміну складу фракцій готового продукту. У працях В.А. Афанасьєва [8] наголошується, що при збільшенні діаметрального розміру отворів решета з 3,0 до 5,0 мм, усереднений розмір частинок дослідної сировини - ячменю незначно збільшується з 0,9 до 1,0 мм. При використанні одно стадійного методу з 1,0 до 1,8 мм. Дані дослідження свідчать, що при двостадійному подрібненні виходить значно більш вирівняний гранулометричний склад готового продукту.

За даними А. Сундєєва, В. Єлісєєва та інших, що зазначається в джерелах [25-27] підтверджується факт, що при збільшенні діаметра ротора з 400 до 1200 мм, прямо пропорційно збільшується загальна продуктивність дробарки.

Проте у разі відбувається збільшення витрати енергії. Також, вище зазначеними авторами виявлено та доведено, що при швидкості молотків (колової) від 80 до 100 м/с оптимальні розміри ротора будуть знаходитися в межах від 0,55 до 0,7 м [23, 24].

Молоткові дробарки можна класифікувати і за способом харчування: дробарки з радіальною та осьовою подачами. Від живлення залежатимуть деякі чинники: технологічні, конструктивні, динамічні.

Родоначальником дослідження у сфері впливу способу живлення на роботи молоткової дробарки був W. Kruger [17].

У його працях зазначено, що на ефективність роботи молоткової дробарки не впливає спосіб завантаження та визначається з конструктивних параметрів.

Незважаючи на це, при детальному вивченні цієї проблеми відзначається низка протиріч.

Зокрема щодо праць В. Спорихіна, А. Тарасенко, та інших, навпаки, відзначається ефективність завантаження центрального. Зокрема, при проведенні випробувань експериментальної дробарки при центральному завантаженні продуктивність була від 1,5 до 3 разів більша, ніж при радіальній, при цьому витрата енергії була практично незмінною.

Одну з центральних ролей при подрібненні зерна в агрегатах закритого типу належить решіт. Решето необхідно для сепарування підсумкового продукту та за допомогою нього регулюється ступінь подрібнення.

У низці праць зазначається, що з колової швидкості молотків від 55 до 100 м/с на подрібнення ударом доводиться від 11,7 до 17 % енергії. Решта припадає на подрібнення стиранням.

У працях Е. Silver, А. Hendrix, дослідним шляхом доведено, що оптимальним значенням колової швидкості відповідатимуть значення від 36 до 45 м/с [29-31].

Г.І. Шуба відзначає, що при збільшенні колової швидкості молотків спостерігається і збільшення продуктивності та енергії. За його експериментальними даними швидкість 82 м/с є оптимальною.

Проте, А. Зеленцов рекомендує швидкість до 100 м/с. Це відзначається і В. Прошак [12] та у В. Плохова. При зростанні швидкості молотків спостерігається зростання витрат за енергію, що від межі текучості використовуваних матеріалів [33].

У працях С. Мельників встановлено, що повне руйнування всіх зерен відбувається на швидкості понад 100 м/с за один удар. Він рекомендує проводити процес подрібнення зерна з допомогою впливу ударом багаторазово в молоткових дробарках[34].

Загалом, технічний та технологічний процес подрібнення зерна є складним та маловивченим. Наявний теоретичний та практичний досвід не дає повноцінної можливості визначити швидкість удару його чисельному значенні тощо, що потребує принципово нових технічних рішень та розробок.

1.4 Подрібнювачі зерна відцентрово-ударної дії

На сучасному етапі багатьох дослідників цікавить проблема застосування подрібнювачів, що конструктивно і технологічно відрізняються від молоткових, зокрема - відцентрових дробарок.

В основі їхньої дії - принцип розгону зернівки при впливі відцентрових сил інерції, з ударом в перешкоду. Однак, більшість подрібнювачів характеризує низька енерго- і металомісткість, середня якість отриманого продукту, знижений рівень шумового впливу та вібрації та ін.

В даний час використання даного виду подрібнювачів визначається низьким дослідженням конструкційних параметрів, а також відсутністю прийняти методик розрахунку параметрів та режимів роботи їх основних робочих органів. Крім цього, їх нерівномірність гранулометричного складу одержуваного продукту і значними складнощами при виготовленні [38, 39].

На основі проведених досліджень та аналізу літератури, в т.ч. патентною, можна виділити різні конструкції ударно-відцентрових подрібнювачів, зведені в класифікаційну схему рис. 1.2.

В. Бліничів для дроблення матеріалів у хімічній промисловості використовував подрібнення в триступневих дробарках (каскадне), що представлено рисунку 1.3 в.

Першим творцем ударно-відцентрових подрібнювачів був В. Товарів, конструкція його відцентрової дробарки представлена рис. 1.3. б. Її ротор розташований на вертикальному валу і має розгінні лопатки.

Сировина надходить у ротор, потім береться лопатями, потім під дією відцентрової сили інерції, надходить на відбійні плити. Вивантаження готового матеріалу відбувається під дією сил тяжіння. Однак, дана конструкція не отримала широкого використання через підвищену неоднорідність продукції, що одержується, зокрема - гранулометричного складу.

У виробничих умовах такі конструкції неефективні, характеризуються поганим регулюванням гранулометричного складу, що проводиться на основі зміни частоти руху ротора.



Рис. 1.2 – Класифікаційна схема ударно-відцентрових подрібнювачів

Аналогічна конструкція ударно-відцентрового подрібнювача для подрібнення матеріалу була вивчена В. Єлісєєвим у 60-х роках. Однак, одержуваний продукт був неоднорідний за своїм складом, і дана конструкція широко не використовувалася.

В. Денисов, підвищуючи однорідність одержуваного продукту в відцентрових дробарках запропонував використовувати неодноразове ударне навантаження матеріалу з проміжною сепарацією. На рисунку 1.3. г представлена дробарка, яка має циліндричний корпус, а також завантажувальні та вивантажувальні отвори [37].

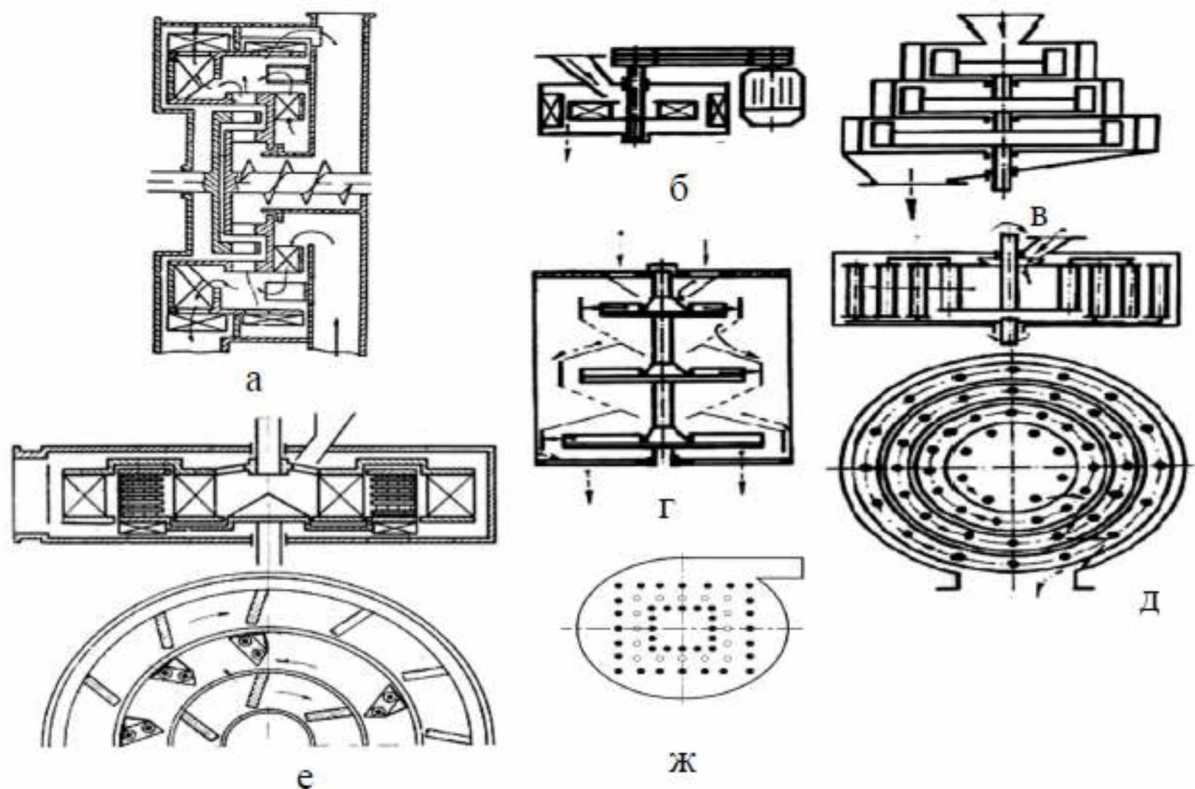
У даній дробарці гранулометричний склад продукту можна регулювати за рахунок частоти обертання ротора, а також діаметра отворів решіт [39].

У сучасній промисловості використовуються дезінтегратори та дисмембратори при необхідності отримання готового продукту тонкого

подрібнення [1, 2, 42-44].

Однак, при порівнянні з дезінтеграторами та дисмембраторами, відцентрові дробарки мають ряд недоліків, до яких можна віднести: конструкцію відбійних дек, яка не може забезпечити викид подрібненого продукту з подрібнювача, тому зерно подрібнюється не повністю, а зростання подачі збільшується і неоднорідність комбікорму [44].

Аналізуючи дослідження теоретиків та практиків, що при виготовленні продукту великого та середнього помелу рекомендується використовувати двоступінчасті ударно-відцентрові подрібнювачі, що представлені на рисунках 1.3. а, в, е, проте за необхідності одержати продукт тонкого помелу, ефективними є багатоступінчасті дробарки, які представлені рис. 1.3 д [45].



а - дезінтегратор із проміжною повітряною сепарацією по замкнутому циклу; б - дробарка В.В. Товарова; в - каскадна дробарка; г - триступінчаста дробарка з проміжною сепарацією; д - пальцевий дезінтегратор; е - дезінтегратор з проміжною сепарацією на плоских подрібнюючих елементах; ж - дезінтегратор із розташуванням пальців по квадрату

Рис. 1.3 – Конструктивно-технологічні схеми ударно-відцентрових подрібнювачів

Всі конструкції дезінтеграторів мають циліндричний корпус, у ньому розташовуються ротори, що обертаються протилежно.

У більшості випадків ножі на роторах конструкційно розташовані по колу, на різних радіусах і мають певний зазор.

У практичних розробках Ю. Баранова пропонується конструкція, в якій ножі, що подрібнюють матеріал, знаходяться на сторонах квадрата, що представлено на рис. 1.3 ж. Автор стверджує, що таке розміщення ударних елементів сприяє одержанню робочих камер змінного перерізу. Дана конструкція змінює на краще навантаження на подрібнювану сировину, а також сприяє інтенсифікації подрібнення, як процесу і створює можливості для зростання продуктивності. Відбувається зростання кількості взаємодіючих частинок сировини між собою.

На рис. 1.4. представлена схема руху зерна у робочій камері на прикладі пальцевого або штифтового дезінтегратора.

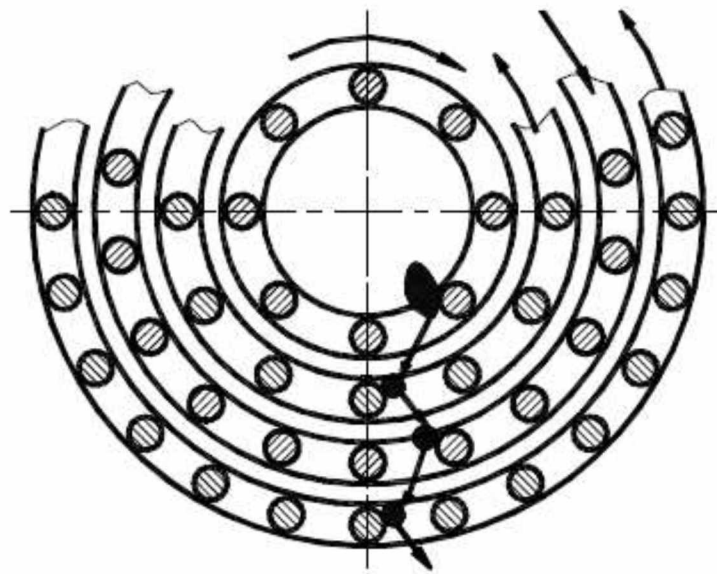


Рис. 1.4 – Рух елемента у дезінтеграторі

Спочатку в дезінтеграторах подрібнюючі складові конструкції були виготовлені у формі круглого перерізу, що представлено на рисунках 1.3д і 1.4. Надалі стали застосовуватися елементи подрібнення плоскої форми, що мають прямокутний та 3-х кутовий переріз (рисунок 1.3 в, е).

Елементи плоскої форми сприяють збільшенню швидкості вильоту частинок, тобто беруть участь у руховому процесі по поверхні елемента, що

сприяє отриманню оптимального напрямку зустрічі частки з ріжучим елементом, що згодом виключає повернення сировини, що надходить, назад на попередній ряд робочих органів. Крім цього, елементи плоскої форми мають значно високу зносостійкість порівняно з молотками, проте меншу ремонтпридатність [41].

У сучасній практиці подрібнення найпоширеніші є ударно-відцентрові подрібнювачі з вертикальною віссю обертання. Спочатку вихідні конструкції дезінтеграторів були виконані з горизонтальною віссю обертальної [42].

У старих конструкціях ударно-відцентрових подрібнювачів вивантаження отриманого продукту проводилося самопливом, на основі гравітаційних сил і представлено на рисунках 1.3 б, в.

Враховуючи підвищену здатність дезінтеграторів і дисмембраторів, що транспортує, вивантаження отриманого матеріалу проводиться при дії відцентрових сил інерції та повітряного потоку, що представлено на рисунках 1.3. в, е, д.

При розгляді деяких варіантів приведених пристроїв необхідно зазначити, що в них вивантаження одержуваного продукту проводиться транспортером [43].

Ряд сучасних конструкцій подрібнювачів виконують із застосуванням проміжної сепарації зерна та без неї.

Процес сепарації продукту деяких випадках може проводитися, зокрема, і з допомогою повітряного потоку, що представлено рис. 1.3а, а також гравітаційних сил на решітках тощо (рисунок 1.3 г), у т. ч. та за рахунок інерційних відцентрових сил (рисунок 1.3 е).

У вітчизняній промисловості перші моделі ударно-відцентрових подрібнювачів добре зарекомендували себе у виробництві комбікормів, з якістю тонкого подрібнення солей та деяких зерен у плівці [45].

У наведеній нижче таблиці позначені основні характеристики подрібнюючих моделей, що використовуються. У таблиці наведено ДБ-5, АІ-ДДШ, ІЛС-5, ДРЦ-5 [61].

Таблиця 1.1 – Основні технічні показники подрібнювачів фуражного зерна

Показники	Молоткові		Ударно-відцентрові		
	ДБ-5	КДМ-3	А1-ДДШ	ИЛС-5	ДРЦ-5
Продуктивність (ячмінь, W=13%), т/год	4,00	2,50	3,65	4,00	4,00
Встановлена потужність, кВт	30	23,1	35	30	26
Модуль помелу, мм	1,35	1,24	1,15	1,65	1,20
Ступінь подрібнення	2,69	3,39	3,65	2,55	3,50
Питома енергоємність, кВт·год/т	3,24	3,54	2,56	2,87	1,81
Витрата енергії, кВт·год/т	7,5	12,0	9,6	7,5	6,5
Маса, кг	900	1000	1480	600	500
Питома металомісткість, кг/(т/год)	225	512	405,8	150	125
Зміст пилоподібної фракції, %	13-15	15-17	-	-	12-15
Вихід цілих зерен, %	6-8	4-6	-	-	1-2

При проведенні аналізу даних наведеної вище таблиці можна відзначити наступне: найнижча енергоємність подрібнення властива ДРЦ-5, який забезпечує середній помел. З даних таблиці можна відзначити, що вказані в ній дробарки відрізняються значною металоємністю та енергоємністю при порівнянні їх з ударно-відцентровими подрібнювачами.

Для отримання продукту тонкого помелу, а також дуже тонкого використовують подрібнювачі А1-ДДШ [46].

Широке поширення ударно-відцентрових подрібнювачів обумовлено у різних галузях виробництва, зокрема у будівельній, хімічній та інших за рахунок підвищеної однорідністю характеристик матеріалів, що використовуються. Однак, при застосуванні в сільському господарстві, можна відзначити особливість зернових культур, які є органічним матеріалом та мають неоднорідність властивостей залежно від культури, що є основою нерівномірності фракційного складу одержуваної продукції.

Також, в залежності від культури, зернівки мають різні фізичні та хімічні властивості.

Таким чином, проявляється суттєвий недолік ударно-відцентрових подрібнювачів, таким є регулювання частоти обертання роторів при подрібненні, що визначається залежно від виду культури, сорту. Зокрема, при помелі зерен кукурудзи для повного руйнування сировини швидкість удару повинна становити 60 м/с, а для ячменю не менше 130 м/с [47].

Малоефективним при експлуатації у всіх подрібнювачах приводами прийнято використовувати асинхронні двигуни зі змінним струмом. При цьому регулювання частоти обертання роторів проводиться за рахунок змінних шківів.

Спосіб подрібнення в ударно-відцентрових подрібнювачів, давно відомий і актуальний в сучасній практиці дроблення.

Так, на виробництві німецької фірми Kgrupp виробляється випуск ударно-відцентрових подрібнювачів серії Тайфун. Допустима робоча лінійна швидкість якого становить 60 м/с, при цьому є прискорювач з діаметром від 700 до 1100 мм.

Австрійська фірма SBM також виробляє обладнання для дроблення різних типів і розмірів, при цьому діаметр прискорювача може становити 800, 1000, 1200 мм, а його лінійна швидкість коливається від 60 до 74 м/с.

Лідером у цій галузі з виробництва відцентрово-ударного обладнання на зарубіжному ринку є фірма Barmac. В даний час вона є частиною корпорації Metco Minerals.

Необхідно відзначити ще одного великого товаровиробника ударно-відцентрових подрібнювачів - компанію Sandvic. Дана фірма випускає модель Merlin, схожу за своїми параметрами і характеристиками з Barmac [48].

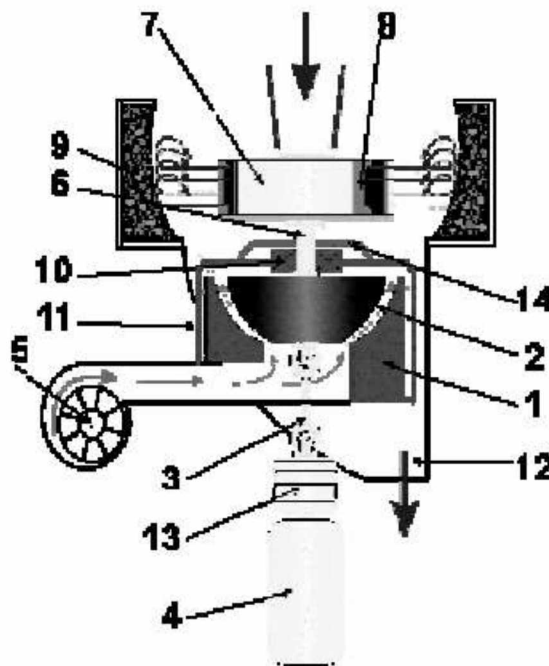
На основі вивчення розвитку виробничої галузі, властивостей та особливостей ударно-відцентрових подрібнювачів, можна виявити низку наступних протиріч. До першого відноситься необхідність забезпечення швидкості удару для збільшення ефективності процесу ударної дезінтеграції. До другого - експлуатаційний ресурсний спад опорних підшипникових вузлів зі збільшенням ударного та абразивного зносу конструктивних робочих органів агрегатів та зростання швидкості удару.

Обмеження мають модифікації на основі підшипників. Зокрема, для

матеріалів, що мають абразивність, вихідні параметри крупності живлення не повинні бути більше 60 мм, при цьому діаметр ротора повинен становити менше 1 м, а його лінійна швидкість варіюватиметься від 60 до 70 м/с для максимальних типових розмірів.

Щоб подолати обмеження, які накладаються на швидкість обертання прискорювачів агрегатів на підшипникових опорах, в конструкції моделей відцентрового типу використовувалася повітряна опора. Вперше, про яку згадується ще на початку XX століття.

За допомогою простої, надійної та ефективної конструкції вирішувалися значні проблеми. Опора виглядає так: 2-і півсфери, в міжзоровий проміжок якої подається стиснене повітря. При малому тиску, можливо, застосовувати типовий напірний вентилятор. Частина ротора, піднімаюся, знаходить під впливом низки зовнішніх впливів (чинників) обертальну вісь (рис. 1.5).



1 - статор; 2 - ротор; 3 - карданний вал; 4 - електродвигун; 5 - повітряний вентилятор; 6 - вал; 7 - прискорювач; 8 - кінцева лопатка прискорювача; 9 - камера подрібнення; 10 - запобіжний вузол на випадок аварійного відключення повітря; 11 - кришка опорної частини; 12 - патрубок для вивантаження подрібненого продукту; 13 - відцентрова муфта; 14 - пильовик

Рис. 1.5 – Опорна частина відцентрових дробарок на повітряній опорі

Таким чином, зменшується чутливість до дисбалансуючих факторів до 10 разів порівняно з аналогами, що мають підшипники. Внаслідок чого знімаються обмеження роторних систем на обертальні швидкість та розміри [48].

Більшість відомих моделей вищезгаданого виду подрібнювачів відрізняються високими швидкостями обертання робочих деталей. Внаслідок чого мають значні витрати енергії на створення супутнього потоку повітря, який впливає на напрямок, швидкість руху частинки в робочому відсіку (камері) подрібнювача.

Даний процес особливо притаманний дезінтеграторам з наявністю плоских робочих елементів. Це формує проблеми при математичному описі процесу роботи у робочій камері згаданого пристрою.

Необхідно відзначити, що комплексні дослідження, опис руху повітряного потоку в робочій камері дисмембратора, не проводилися.

1.5 Прийоми та способи підвищення ефективності ударно-відцентрових подрібнювачів

При аналізі недоліків ударно-відцентрових подрібнювачів необхідно відзначити як значну неоднорідність гранулометричного складу одержуваного подрібненого продукту, так і регулювання частоти обертання роторів, яку необхідно часто проводити при використанні різномірної сировини.

На основі зазначених недоліків, шляхи та способи підвищення якості подрібненого продукту, що отримується, зниження енергетичної ємності процесу дроблення доцільно проводити в наступних напрямках:

- Організовувати процес подрібнювача так, щоб при першому ударі зруйновані елементи частинок піддавалися наступним ударам з низьким ККД. На основі цього частинки не будуть подрібнюватися. При цьому цілі зерна руйнуватимуться, зазнаючи удару.

- Зростання ефективності подрібнювального процесу можна здійснювати за допомогою сепарації сировини в керованому інерційно-силовому полі за рахунок використання сил інерції (відцентрових). Подрібнювачі відповідають

вимогам створення та регулювання цього поля.

На основі вивчення та аналізу патентних джерел, а також літературних видань нами виділено найефективніші способи подрібненої сировини, що використовуються в ударно-відцентрових подрібнювачів, проміжній сепарації. Усі подрібнювачі на основі способу сепарації можна класифікувати за трьома групами, що представлено на рис. 1.3. До них відносяться подрібнювачі із сепарацією на основі дії як потоку повітря, так і гравітаційного та відцентрового полів [49].

Ударно-відцентрові подрібнювачі з проміжною сепарацією у гравітаційному полі

В.А. Денисовим була розроблена конструкція триступінчастої відцентрової дробарки з проміжною сепарацією. У ній під впливом гравітаційних сил відбувався поділ подрібненого продукту на похиленої ситової поверхні [37]. Її перевагою, якщо порівнювати з молотковою, була винесення сепаруючих органів з подрібнюючої зони. Ця особливість конструкції збільшувала надійність роботи дробарки. До її недоліків можна віднести відсутність рециркуляції та можливості інтенсифікувати процес сепарації.

Проте у цієї та аналогових конструкцій подрібнювачів відсутня можливість управління гравітаційним полем, що є суттєвим недоліком. З цього, описаної вище конструкції відзначається низька якість отриманого продукту при зростанні подачі в дробильну камеру. Крім цього, негативним фактором у процесі сепарації, може бути вплив потоку повітря, який рухається в отворах сит назустріч частинкам.

Ударно-відцентрові подрібнювачі з проміжною сепарацією за рахунок потоку повітря

У своїх працях значну увагу низки дослідників, які вивчають проблему вдосконалення подрібнювачів, присвятили проміжній сепарації на основі впливу потоку повітря. Зазначений вид сепарації заснований на відмінності маси та аеродинамічного коефіцієнта опору повітрю цілого та зруйнованого зерна [1].

Метою зазначеного винаходу було створення потоку повітря, який був перпендикулярний потокам руху подрібненого матеріалу.

Дана конструкція за рахунок рециклу сприяє одержанню готового продукту більш вирівняної якості.

Тим не менш, вона має ряд недоліків, до яких відноситься підвищена металоємність конструкції, питома енергоємність подрібнення, створюється додатковий потік повітря, аеродинамічний опір вентиляційних лопаток, ускладненість конструкції.

Окремим напрямком у процесі вдосконалення подрібнювачів є зниження потоку повітря, який створюється елементами подрібнення. Практика широко використовується у вирішенні цієї проблеми застосування відцентрового поля.

Ударно-відцентрові подрібнювачі з проміжною сепарацією у відцентровому полі

При сепарації подрібнених матеріалів великими технічними та продуктивними можливостями з регулюванням відцентрових силових полів мають ударно-відцентрові подрібнювачі. У конструкційних параметрах вони схожі з інерційними сепараторами, які запропонував використовувати для очищення від домішок зерна Н. Авдєєв.

Проводилися розробки та виготовлення зразка дезінтегратора з проміжною сепарацією отриманого подрібненого матеріалу за рахунок дії відцентрових сил інерції.

За допомогою зміни кутової частоти обертання дискових елементів, кількості проміжних рядів, а також проміжків між трапецієподібними пластинами проводиться регулювання фракції помелу. Ця конструкція під час лабораторних випробувань виявила низку недоліків.

Так, не враховувалося інерційне поле, що унеможливило подальшого виведення фракції прохідного розміру із сепараційної зони. Причиною цього було те, що частинці, що пройшла через ряд пластин, потрібно змінити напрямок переміщення на 90° , при цьому долати сили тертя, що виникають на внутрішній стороні кожуха.

Також не враховувалася поведінка потоку повітря у сепараційній зоні.

При розгляді даних подрібнювачів, враховувалися їх позитивні особливості порівняно з дробарками відцентрового типу.

а) вивантаження отриманого продукту з подрібнюючої зони дезінтегратора проводиться за рахунок дії сили інерції, а також потоку повітря, що перевищує сили гравітації, що використовуються в більшості відцентрових дробарок. Таким чином, отриманий матеріал в результаті дроблення вчасно видаляється з поверхонь подрібнювальних органів, при цьому не утруднюючи процес руйнування нового зерна.

б) швидкість удару зерна в подрібнюючі органи конструкцій більшості типів подрібнювачів зерна коливається від 60 до 80 м/с [31].

При використанні роторів в дезінтеграторі з протилежним обертанням кутову швидкість при порівнянні з ударно-відцентровими подрібнювачами, можна знизити в 2 рази.

Таким чином, збільшується надійність кінематичних передач, вузлів тертя знімається загальне навантаження на деталі, розташовані в сильному інерційному полі. Також зниження кутових швидкостей ротора позитивно впливає на зниження енерговитрат формування негативного потоку повітря при холостому ході.

1.6 Особливі конструкції робочих органів

Конструктивно пасивні та активні органи мають певну оригінальність. Зокрема, існує дробарка, яка має у своїй конструкції зубчастий ротор і пасивний робочий орган, виготовлений у формі деки, що має комірки, розмір яких знижується від завантажувального бункера зверху агрегату до його нижньої частини - вивантажувального пристрою. Обертання ротора може здійснюватися у взаємно протилежних напрямках.

Вченими створено конструкцію триступеневої відцентрової дробарки, що підвищує термін експлуатації, ефективність процесу подрібнення. Ротор конструкційно має два розгінні диски, які виготовлені на зразок робочих коліс вентиляторів відцентрового типу.

У деяких видах подрібнювачів при роботі переважають інші види руйнування, ніж вільний удар через їх конструкційні особливості.

Через конструкційні особливості робочих органів в окремих видах подрібнювачів, переважають інші види руйнувань над вільним ударом. Їх назвати подрібнювачами можна лише умовно. Тим не менш, вони мають ряд загальних ознак, що дозволяють їх порівнювати з дробарками [27, 38].

Для отримання крупно-кускових частинок з матеріалів, що злежалися, рекомендується використовувати одновалкову зубчасту дробарку [42]. Чи не активний робочий орган виготовлений у вигляді валка зубчастого. Деки складаються з набору пластин, що мають похилу робочу поверхню. Ударне подрібнення сировини відбувається при обертанні проти годинникової стрілки, а за годинниковою стрілкою відбувається різання зі сколом.

Насправді застосовується ще й малогабаритна дробарка. Вона має ротор, виготовлений у формі диска, який рухається рухом, що обертається в горизонтальній площині. На його поверхні розміщені пальцеподібні виступи. Робочий орган (пасивний), виготовлений у формі статора, з пальцеподібними виступами. Безпосередньо подрібнення продукту здійснюється в зазорі між статором і роторними пальцями.

Працями В. Опришка, вченого О. Сундєєва, розроблений та впроваджений у виробництво. Він активно складається з 2-х основних дисків, які рухаються назустріч, що є його робочими органами [50]. Подрібнення провадиться пластинами, які розташовані на робочих поверхнях дисків. Описаний вид подрібнювача схожий на млини і дробарки.

Необхідно уточнити, що описані конструкції дають широкі можливості подрібнювачам, тим самим підвищуючи їх основні показники продуктивності та експлуатації.

Висновки до розділу

Враховуючи різноманітні технічні рішення конструкцій ударних подрібнювачів з виробництва кормів, необхідно ґрунтуватися на факторі вибору на користь надійності, довговічності та ефективності їх роботи, у тому числі, в першу чергу, зниження питомих енергетичних витрат при отриманні

подрібненого продукту високої якості та його рівномірного фракційного складу. При цьому потрібно враховувати і простоту конструкції, яка не повинна мати високу вартість, метало та енергоємність, а також легко обслуговується та ремонтпридатна.

Отже, одержання кормів у процесі подрібнення матеріалу є складним процесом, що потребує вирішення та вдосконалених та інноваційних ідей та підходів.

Ефективність згодовування можна підвищити за рахунок оптимізації розмірів частинок подрібненого зерна для кожного виду тварин відповідно до зоотехнічних вимог. Переподрібнення корму негативно позначається на здоров'ї та продуктивності тварин, збільшує енергоємність процесу, погіршує умови праці людини.

Процес подрібнення зерна складне та недостатньо вивчене явище. Отримані знання, що склалися, не дозволяють однозначно відповісти на багато принципових питань, наприклад про кількість і швидкість удару, необхідних для повного руйнування зернівки.

Ударні відцентрові подрібнювачі фуражного зерна є новим типом обладнання для подрібнення. Вони мають низьку питому витрату енергії, що витрачається на процес і меншою металоємністю, ніж молоткові дробарки. Їх впровадження у виробництво стримується відсутністю методик інженерного розрахунку та проектування даних конструкцій.

Низька ефективність процесу подрібнення визначається нерівномірністю повітряно-продуктового шару, таким чином, теорією та практикою встановлено, що процес сепарації матеріалу ефективніше здійснювати за рахунок відцентрових сил інерції у керованому силовому інерційному полі. Цим умовам задовольняють ударно-відцентрові подрібнювачі.

Технічні рішення, що задовольняють показники підвищення роботи відцентрово-ударних подрібнювачів, ґрунтуються на розробці та ускладненні їх конструкційних параметрів.

Зростання ефективності процесу подрібнення можна здійснити шляхом удосконалення основних провідних робочих органів (активних).

2 МЕТОДИКА Й ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Визначення продуктивності ударно-відцентрового подрібнювача

Основними робочими елементами подрібнювача є ножі, встановлені у парах диска. Вони захоплюють зерно, яке надходить через завантажувальні вікна в центральну частину дробарки, при цьому розганяючи його і направляючи під удар подрібнюючих елементів другого диска.

При багатоступінчастому подрібненні, продуктивність ударно-відцентрового подрібнювача дорівнює продуктивності першого ступеня. У цій конструкції вона визначатиметься кількістю зерна, що проходить по подрібнювальних елементах і конусах першого диска залежить переважно від кількості ножів і швидкості руху зернового матеріалу по них.

Припустимо, що зерновий матеріал рухається ножом і конусом диска одним шаром, то його кількість в одиницю часу можна визначити з виразу:

$$q = \frac{3600\pi d_e^2 V}{4 \cdot 1000} \rho, \quad (2.1)$$

де q – продуктивність ножа, т/год;

d_e - еквівалентний діаметр зерна, м;

V – швидкість переміщення зерна по площині ножа, м/с;

ρ - щільність матеріалу, що подрібнюється кг/м³.

Продуктивність ударно-відцентрового подрібнювача визначається кількістю ножів встановлених на диску.

$$Q = \frac{3600\pi d_e^2 V}{4 \cdot 1000} \rho z, \quad (2.2)$$

де Q - продуктивність подрібнювача, т/год;

z – кількість ножів на диску.

Продуктивність подрібнювача залежатиме і від діаметра завантажувального вікна (рис. 2.1).

Припустимо, що товщина ножа дуже мала, то максимальну продуктивність подрібнювача набуде вигляду:

$$Q = \frac{3600\pi^2 D_0 d_e \nu \rho}{1000}, \quad (2.3)$$

де D_0 - діаметр приймальної камери, м.

Так як ножі подрібнювача мають певну товщину, то з її урахуванням виразу (2.3) набуде вигляду:

$$Q = \frac{3600(\pi D_0 - z\delta) d_e \nu \rho}{1000}, \quad (2.4)$$

де δ - товщина ножа, м.

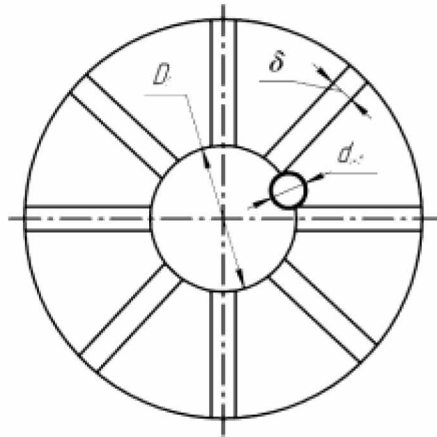


Рис. 2.1 – Схема для визначення продуктивності подрібнювача

Виходячи з того, що зі збільшенням кількості ножів відстань між ними зменшуватиметься, тобто вона може стати менше розмірів частинки зерна та подрібнювач стане не працездатним, кількість лопаток буде обмежена:

$$z \leq \frac{\pi D_0}{d_e + \delta}. \quad (2.5)$$

Виходячи з формули (2.5) вираз (2.2) набуде вигляду:

$$Q = \frac{3600(\pi d_e)^2 D_0}{4 \cdot 1000(d_e + \delta)} \rho \nu. \quad (2.6)$$

Введемо у формулу (2.6) експериментально визначуваний коефіцієнт заповнення міжножевого простору (K_z), отримаємо:

$$Q = K_z \frac{3600(\pi d_e)^2 D_0}{4 \cdot 1000(d_e + \delta)} \rho \nu. \quad (2.7)$$

З рівняння (2.7) видно, що продуктивність ударно-відцентрового

подрібнювача залежить від діаметра завантажувальної камери, швидкості руху зернового матеріалу по ножу, кількості та товщини ножів та властивостей подрібнюваного матеріалу.

При зміні частоти обертання в межах від 500 об/хв до 900 об/хв залежність продуктивності подрібнювача частоти обертання завантажувального диска представлений рис. 2.2. Вихідні дані побудови графіка представлені у таблиці додаток 1.

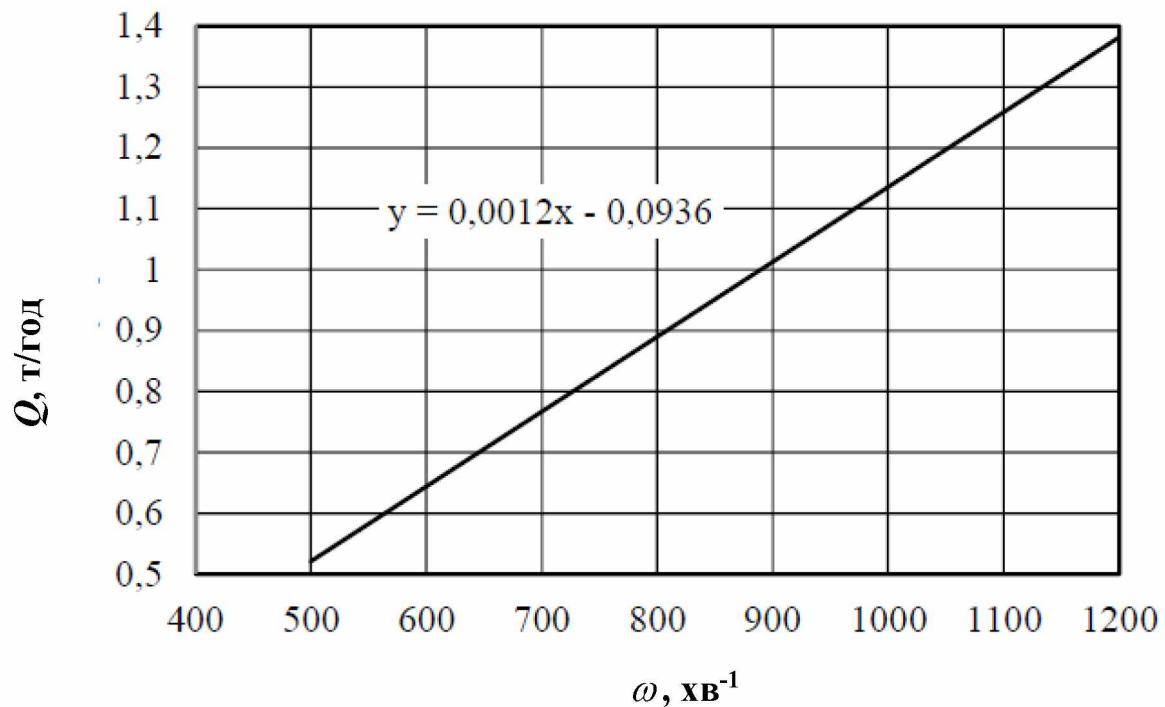


Рис. 2.2 – Залежність продуктивності від частоти обертання завантажувального диска

2.2 Визначення параметрів, що впливають на ступінь подрібнення зерна

Ступінь подрібнення зернового продукту при ударному впливі залежить від відносного переміщення елемента маси ножом ударно-відцентрового подрібнювача за проміжок часу між двома сусідніми впливами ножів на нього. Відносне переміщення елемента маси x визначається:

$$x = v_{\text{е}} t, \tag{2.8}$$

де $v_{\text{е}}$ - швидкість переміщення частинки по зубу ножа, м/с;

t - час між сусідніми впливами ножів на частинку, с.

$$t = \frac{(l + \delta)}{\omega R}, \quad (2.9)$$

де l - довжина дуги між сусідніми ножами, м;

δ - товщина ножа, м;

ω - кутова частота обертання, с^{-1} ;

R - радіус обертання, м.

Виходячи з рис. 2.3, маємо:

$$(l + \delta) = \frac{2\pi R}{z}, \quad (2.10)$$

де z – кількість лопаток.

Спільне рішення виразу (2.9) і (2.10), дає нам час між ударами:

$$t = \frac{2\pi R}{z\omega R}. \quad (2.11)$$

При обертанні подрібнювальних дисків в одному напрямку з постійною кутовою швидкістю ω вираз (2.11) набуде наступного вигляду:

$$t = \frac{\pi}{z\omega}. \quad (2.12)$$

Значення відсіченої частини зернівки дорівнюватиме:

$$x = \frac{\pi v_6}{z\omega}. \quad (2.13)$$

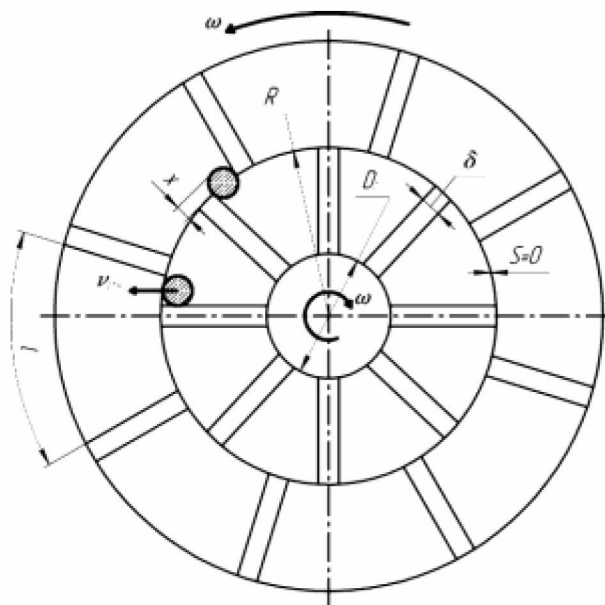


Рис. 2.3 – Схема визначення ступеня подрібнення зернівки при мінімальному зазорі

При збільшенні зазору між ножами подрібнювача сколююча частина x також збільшуватиметься (рис. 2.4):

$$x = \frac{\pi v_e}{z\omega} + S, \quad (2.14)$$

де S - величина зазору між ножами.

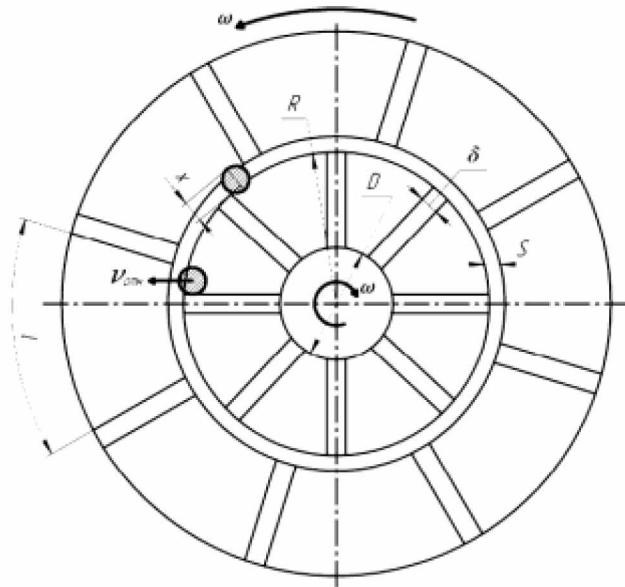


Рис. 2.4 – Схема визначення ступеня подрібнення зернівки при зазорі рівному нулю

Аналізуючи вираз (2.14) видно, що величина частини зернівки, що сколюється, залежить від кількості подрібнюючих елементів і зазору.

При зазорі менше ніж еквівалентний діаметр частинок d_e спостерігається сколюючий вплив, а при досягненні зазору рівного еквівалентному діаметру зернівка розколюється навпіл. При подальшому русі зернівки вона зазнає більшої ударної дії ножів, яка залежить від колової швидкості подрібнювальних дисків.

На рис. 2.5 представлена схема руху зернівки при зазорі S менше, ніж еквівалентний діаметр.

Введемо позначення: h - висота ножа, L - довжина ножа, L_x - величина переміщення частинки по ножу, R_0 - радіус першого конуса лівого диска, R_1 - радіус першого конуса правого диска.

При сході з ножа лівого диска зернівка рухається перпендикулярно до конуса правого диска прямолінійною траєкторією. Визначимо радіус R_1 , у якому

відбувається контакт частки з другим диском.

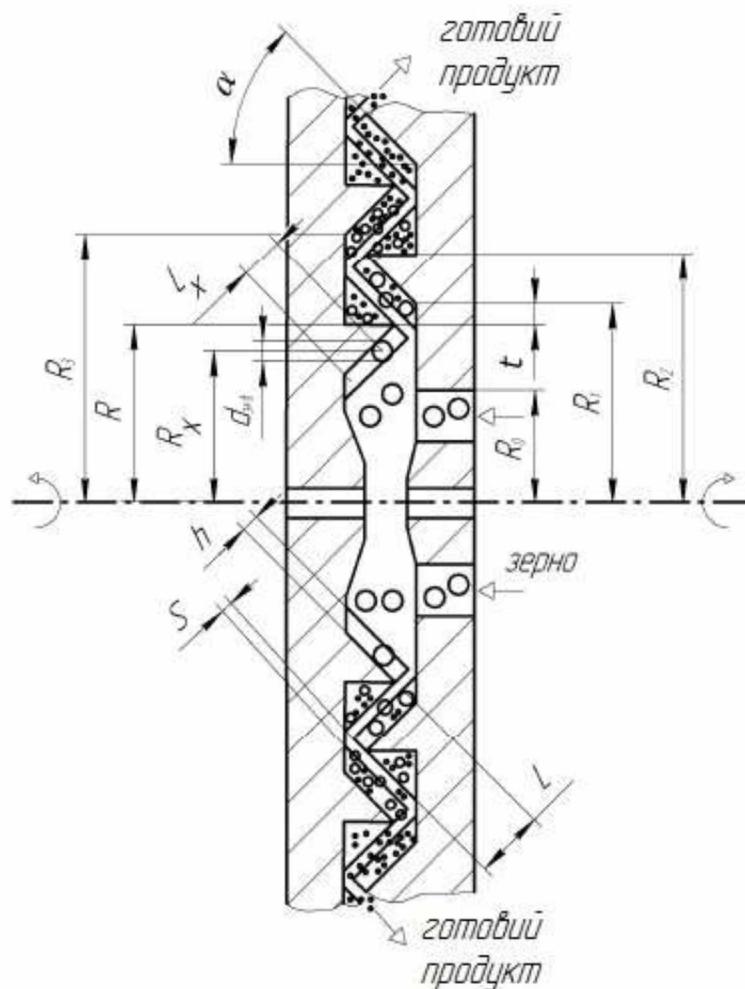


Рис. 2.5 – Схема переміщення зернового матеріалу в подрібнювачі при зазорі меншому за еквівалентний діаметр зернівки

При зазорі $S < d_e$

$$R_1 = R_0 + (L + h + d_3) \sin \alpha. \quad (2.15)$$

Визначимо переміщення зернового матеріалу по подрібнювальним елементам L_x :

$$L_x = \frac{R_1 + L \sin \alpha - (R_0 + (L + h + d_3) \sin \alpha)}{\sin \alpha}. \quad (2.16)$$

У зв'язку з тим, що вершини конусів зміщені щодо один одного, то:

$$R_1 = R + (h + S) \sin \alpha, \quad (2.17)$$

$$R_2 = R_1 + L \cos \alpha, \quad (2.18)$$

$$R_3 = R_2 + (h + S) \sin \alpha, \quad (2.19)$$

тоді

$$L_x = \frac{R + L \sin \alpha - R_0 - (S + (L + h + d_3) \sin \alpha)}{\sin \alpha}. \quad (2.20)$$

Виходячи з отриманого виразу (2.20) можна зробити висновок, що зі збільшенням зазору між дисками зменшується швидкість сходу матеріалу з площини ножа, що згодом призведе до передрібнення готового продукту.

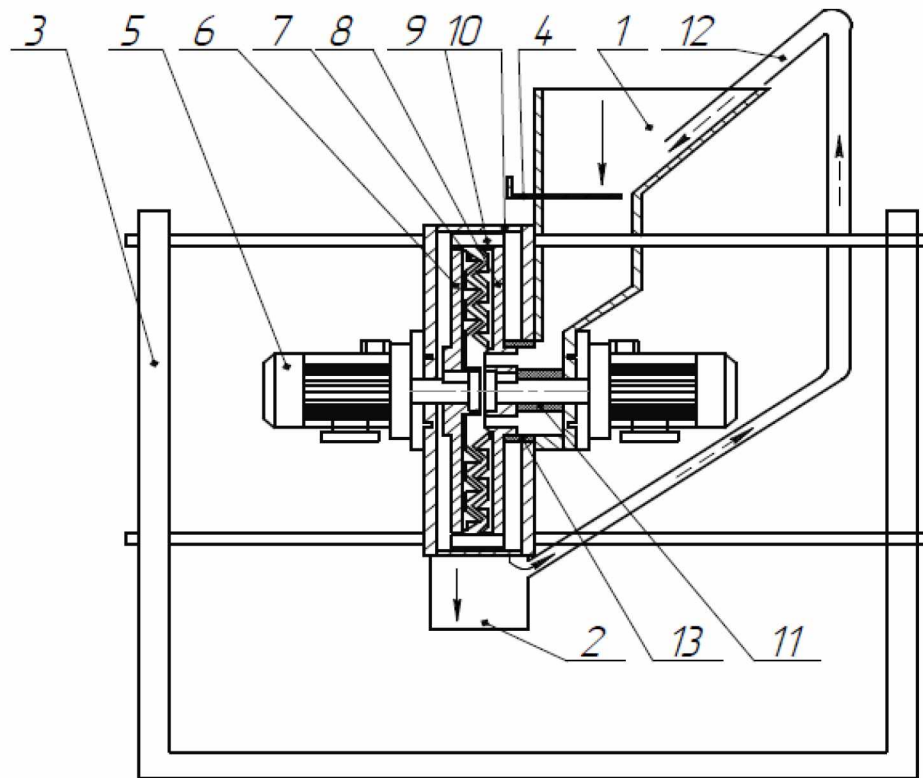
Наприкінці можна зробити висновок, що дана конструктивна розробка подрібнювача дозволяє в широкому діапазоні варіювати зазорами між подрібнюючими елементами та коловою швидкістю дисків без змін конструктивних і кінематичних параметрів установки.

2.3 Обладнання, матеріали та прилади експериментальних досліджень

Для перевірки теоретичних даних та вибору конструктивних та технологічних параметрів ударно-відцентрового подрібнювача було розроблено програму експериментальних досліджень:

- Перевірити теоретичну отриману продуктивність пристрою експериментально.
- Визначити конструктивні та технологічні параметри, що впливають на показники роботи подрібнювача.
- Провести порівняльні дослідження нового конструктивного рішення ударно-відцентрового подрібнювача та молоткової дробарки КДУ-2.

Ударно-відцентровий подрібнювач (рис. 2.6) містить завантажувальний пристрій 1, в корпусі якого співвісно розташовані диски 6 (лівий) і 8 (правий) з кільцевими канавками у вигляді виступів трикутної форми та западин у формі трапецій, на яких встановлені ножі 7, вивантажувальний пристрій 2, циліндричний корпус 10, раму 3, електродвигуна 5, розгінних лопаток 9, засувки 4, патрубку 12. Ножі правого диска входять до западини лівого диска з утворенням зазору S. Правий диск 8 має завантажувальні отвори з кільцевим напрямником 13 для точного завантаження зернового матеріалу в подрібнювач. Диски 6,8 закріплені на валах електродвигуна з можливістю обертання протилежні сторони. Циліндричний корпус подрібнювача закритий кожухом.



1 - завантажувальний пристрій; 2 - вивантажувальний пристрій; 3 – рама;
4 – заслінка; 5 – електродвигун; 6 - диск (лівий); 7 – ножі; 8 - диск (правий);
9 - розгонні лопатки; 10-подрібнювач з циліндричним корпусом; 11 – втулка;
12 – патрубок; 13 - кільцевий напрямник

Рис. 2.6 – Схема ударно-відцентрового подрібнювача

Для раціонального перебігу процесу подрібнення в ударно-відцентровому подрібнювачі, тобто для забезпечення сколюючого впливу і вільного руху подрібнюваних частинок з виступу одного диска на виступ іншого диска, западини канавок можуть бути виконані у формі прямокутної трапеції з гострим кутом 45° , що відповідає куту вершин трикутних виступів $\alpha = 45^\circ$. Диски мають можливість переміщатися відносно один одного в осьовому напрямку, змінював при цьому зазор між дисками та лопатками.

Подрібнювач працює наступним чином. Подрібнюваний продукт подається в корпус 10 подрібнювача через завантажувальний пристрій 1, за рахунок повітряного потоку з патрубка 12 і розрядження створюваного всередині подрібнювача матеріал надходить в центр між дискового простору. Матеріал через вікно правого диска 8 надходить у центральну частину

подрібнювача, де захоплюється ножами лівого диска 6 і рухається поверхнею цих ножів і утворює конуса одержуючи при цьому деяку швидкість. Подрібнене до деякої величини зерно проходить через зазори між ножами не подрібнюючись. Варіюючи парканом можна досягти різного модуля помелу зернового матеріалу. При сході з останнього конуса лівого диска продукт 6 потрапляє на додаткові лопатки 9, якими розганяється і додатково подрібнюється. Повітряний потік, що створюється при цьому, сприяє швидкому виведенню продукту із зони подрібнення. Далі повітряно-продуктова суміш виходить через вивантажувальний пристрій 2 повітря по патрубку 12 направляється назад в завантажувальний пристрій 1 подрібнювача і сприяє подачі матеріалу в подрібнювач. Вивантажувальний пристрій дозволяє відбирати проби готового продукту у процесі роботи. За рахунок циркуляції повітря знімається енергоємність процесу подрібнення та витрачається на 10 % менше витрат на переміщення повітряно-продуктової суміші.

Для проведення експериментальної оцінки технологічних та конструктивних параметрів ударно-відцентрового подрібнювача було виготовлено експериментальний подрібнювач (рис. 2.7).



Рис. 2.7 – Експериментальна установка ударно-відцентрового подрібнювача

Подача матеріалу до ударно-відцентрового подрібнювача здійснювалася за

допомогою тарілчастого дозатора ДТК. Частоту обертання подрібнювальних дисків змінювали перетворювачем частоти Altivar 31 з подальшим виміром за допомогою тахометра Т 410-Р ГОСТ 13082-71. Експериментальна конструкція подрібнювача дозволяє легко змінювати частоту обертання правого та лівого дисків, зазор, кількість подрібнювальних елементів та розгінних лопаток. На рисунках 2.8, 2.9, 2.10 наведено основні вузли установки. У таблиці 2.1 показано технічну характеристику подрібнювача фуражного зерна.



Рис. 2.8 – Розбірний вид ударно-відцентрового подрібнювача



Рис. 2.9 – Ліва половина подрібнювача



Рис. 2.10 – Права половина подрібнювача із завантажувальними вікнами

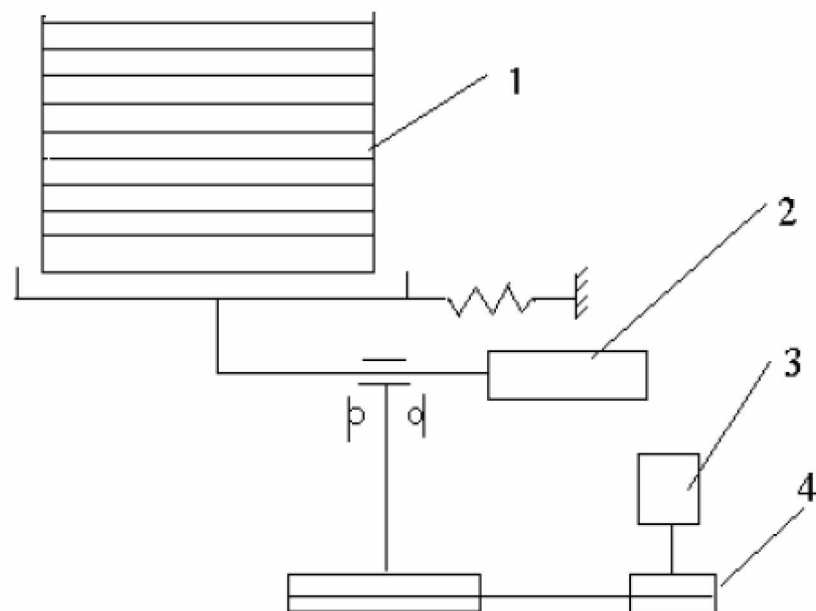
Таблиця 2.1 – Технічна характеристика установки

Показники	Величина
Максимальний діаметр робочої камери, $D_{\max}$, мм	320
Мінімальний діаметр робочої камери, $D_{\min}$, мм	100
Кількість виступів (східців) на диску, прим.	4
Кількість ножів та лопаток на диску, шт.	до 24
Розмір зазору, мм	2,5 - 5
Частота обертання дисків, хв^{-1}	600 - 3000
Потужність електродвигунів, кВт	6

Для визначення енергоємності процесу подрібнення використовували трифазні електронні лічильники з похибкою вимірювання трохи більше 0,5 %.

Вага відібраних проб готового продукту зважувалася на вагах ВП-50, а залишок на ситах класифікатора.

Фракційний склад готового продукту визначався на ситовому класифікаторі, схема якого представлена малюнку 3.6. [51].



1 - набір сит; 2 - протизвага; 3 - електродвигун; 4 – клинопасова передача

Рис. 2.11 – Схема лабораторного класифікатора

Принцип роботи класифікатора полягає в передачі обертового руху від електродвигуна 3 за рахунок клинопасової передачі 4 ексцентриковому

механізму 2, який у свою чергу перетворює його в коливальний рух колонки з набором сит 1. Частота коливань класифікатора варіює від 190 до 200 коливань у хвилину з амплітудою 35 мм . Час, відведений на повне просіювання відібраних проб, варіює від 5 хв до 8 хв.

Величина зазору змінювалася за допомогою установки додаткових шайб у проставки між дисками та контролювалася за допомогою штангенциркуля у горизонтальній та вертикальній площинах.

Вихідним матеріалом у дослідях виступав ячмінь, характеристика якого наведена в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Коротка характеристика ячменю, що подрібнюється

Найменування показників	Одиниці виміру	Чисельна величина
Натурна вага	г/л	770
Сміттєва домішка	%	2,4
в тому числі:		
мінеральна	%	0,6
зернова	%	1,9
Плівчастість	%	1,5
Вологість	%	13 - 15

2.4 Методика проведення експериментальних досліджень

2.4.1 Визначення основних показників процесу подрібнення

Продуктивність, енергоємність та вирівняність гранулометричного складу готового продукту є основними показниками, що характеризують процес дроблення.

Продуктивність установки змінилася за допомогою дозатора ДТК з подальшим контролем проб готового продукту за стабільного режиму роботи.

Продуктивність подрібнювача визначили з виразу:

$$Q = 3600 \frac{M}{t}, \quad (2.21)$$

де Q - продуктивність подрібнювача, кг/год;

M - маса відібраної проби, кг;

t - час відбору проби, с.

Потужність, що підводиться до подрібнювача, замірялася електронними лічильниками трифазного струму в стабільному режимі роботи в момент відбору проб.

Потужність, що витрачається на привод дисків подрібнювача, визначалася за такою формулою:

$$N = (N_a + N_b + N_c) \times \eta, \quad (2.22)$$

де N – потужність, що витрачається на привід подрібнювача, кВт;

N_a, N_b, N_c - показання лічильника за фазами А, В, С, кВт;

η - ККД електродвигуна.

Коефіцієнт корисної дії електродвигуна має різні значення при навантаженні нижче оптимального, на підставі цього була взята неповна характеристика ККД електродвигуна від потужності, що підводиться, представлена на рис. 2.12.

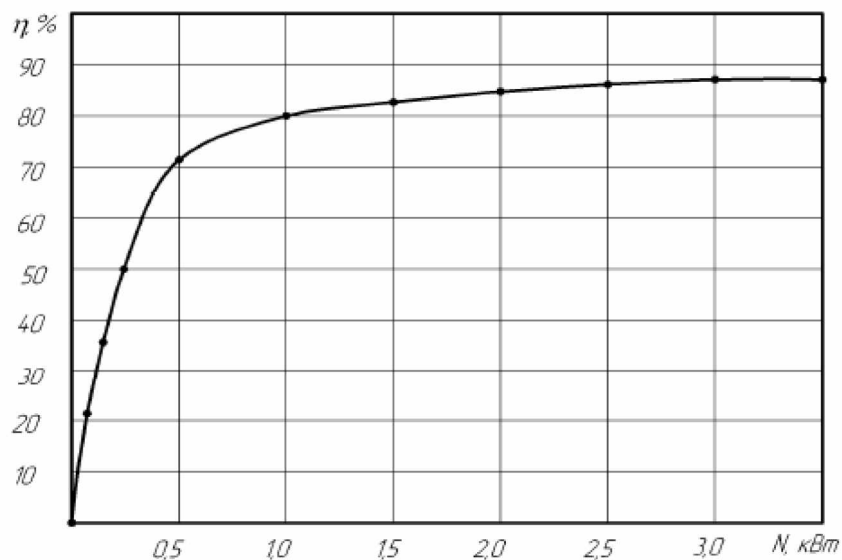


Рис. 2.12 – Залежність сумарної потужності від ККД електродвигуна

За критерій оцінки щодо гранулометричного складу готового продукту прийнято модуль помелу M і однорідність.

Професором А.В. Макаровим розроблено ситовий метод, який було взято за основу для визначення модуля помелу [52].

Суть методу А.В. Макарова полягає у наступному. Навіски фуражного зерна масою 100 г просіюються протягом 5 хвилин через набір сит з діаметрами отворів 3, 2 та 1 мм. Модуль помелу визначається за такою формулою:

$$M = (3,5P_1 + 2,5P_2 + 1,5P_3 + 0,5P_0) / 100, \quad (2.23)$$

де М - модуль помелу, мм;

P_1, P_2, P_3 - масові залишки на ситах з діаметрами отворів 3, 2 і 1 мм відповідно, г;

P_0 - маса залишку на дні, г.

Для отримання більш точних даних про дисперсність продукту використовували ситовий класифікатор, що складається з набору сит з розмірами отворів 3,0, 2,0, 1,6, 1,3, 1,0, 0,85, 0,2 мм. Вага навішування при цьому була збільшена до 1,5 - 2,5 кг.

Модуль помелу визначали за такою формулою:

$$M = \frac{3,5P_1 + 2,5P_2 + 1,8P_3 + 1,45P_4 + 1,15P_5 + 0,925P_6 + 0,525P_7 + 0,1P_8}{P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7 + P_8}, \quad (2.24)$$

де $P_1 - P_8$ - маси залишків на відповідних ситах і дні, кг.

Однорідність гранулометричного складу готового продукту оцінювали статистичними методами, а якість подрібненого ячменю порівнювали з вимогами до гранулометричного складу подрібненого продукту за ГОСТ 13496.8-72 (табл. 2.3) [30].

Таблиця 2.3 – Вимоги до гранулометричного складу подрібненого продукту

Група	Залишок на ситі, %, з отворами діаметром, мм			Вміст цілих зерен, %
	2	3	4	
1	не допускається	-	-	не допускається
2	не більше 5	не допускається		не допускається
3		не більше 5	не допускається	не більше 0,3
4		не більше 35	не більше 5	не більше 0,7

2.4.2 Визначення швидкості робочих органів

Частоту обертання подрібнювальних дисків подрібнювача змінювали асинхронним перетворювачем Altivar 31.

Колову швидкість подрібнювальних дисків установки визначили:

$$V = \frac{\pi R n}{30}, \quad (2.25)$$

де V - колова швидкість, м/с;

R - відстань від осі обертання диска до точки визначення швидкості м;

n - частота обертання диска, хв⁻¹

При режимі роботи установки, що встановився, частоту обертання подрібнювальних дисків за допомогою тахометра Т 410-Р ГОСТ 13082-71.

2.4.3 Визначення зазору між лопатками

Зазор між ножами, що подрібнюють, регулювався переміщенням дисків відносно один одного в осьовому напрямку. Величина проміжку контролювалася штангенциркулем по всій площині дисків.

2.4.4 Методика визначення енергоємності процесу подрібнення

Основним показником процесу подрібнення зерна є енергоємність процесу подрібнення до певної крупності.

Вона складається з трьох основних елементів:

$$N = N_{xx} + N_{nod} + N_{mp}, \quad (2.26)$$

де N_{xx} - енергія витрачається на холостий хід подрібнювача, кВт;

N_{nod} - енергія витрачається на подрібнення продукту, кВт;

N_{mp} - енергія, що витрачається на переміщення продукту всередині подрібнювача, кВт.

Питомими витратами енергії визначаються як відношення витрат енергії до продуктивності установки:

$$A_{\text{мт}} = \frac{N_{\text{хх}} + N_{\text{под}} + N_{\text{мр}}}{Q}, \text{ кВт}\cdot\text{год/т.} \quad (2.27)$$

При обліку енерговитрат електродвигуном (2.27) підставляється значення повної енергії, тобто $N_{\text{хх}} + N_{\text{под}} + N_{\text{мр}}$, для порівняння різних режимів роботи подрібнювача.

Порівняння режимів роботи подрібнювача за питомою енерговитратою можна проводити лише за однакового ступеня подрібнення продукту, проте при різних режимах роботи подрібнювача це порівняння не коректне.

Об'єктивним показником ефективності роботи подрібнювача є питома енергоємність, що визначається відношенням питомої витрати енергії до ступеня подрібнення матеріалу.

$$E_{\text{под}} = \frac{A_{\text{мт}}}{\lambda} = \frac{N_{\text{хх}} + N_{\text{под}} + N_{\text{мр}}}{Q\lambda}, \text{ кВт}\cdot\text{год/т}\cdot\text{одиниць ступ. подрібнення}, \quad (2.28)$$

де λ – ступінь подрібнення продукту, одиниць ступеня подрібнення.

$$\lambda = \frac{d_e}{M}, \quad (2.29)$$

де d_e - еквівалентний діаметр зернівки подрібнюваного продукту.

Висновки до розділу

Теоретичний аналіз роботи відцентрово-ударного подрібнювача виявив можливість його роботи у широкому діапазоні зміни конструктивних параметрів.

Виявлено теоретичні аспекти залежностей продуктивності подрібнювача, які у своїй основі приймають його конструктивні параметри та режими, зокрема до них відносяться: частота обертання подрібнювальних дисків, діаметр завантажувального вікна, довжина ножа, його кількісне співвідношення, товщину, а також властивість та параметри зернового матеріалу .

На основі аналізу теоретичної бази досліджень нами виявлено можливість підвищення якісних характеристик продуктів, що отримуються, а також продуктивність подрібнювача на основі конструктивних змін основних параметрів ножів.

3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Експериментальні дослідження зміна питомої енергії подрібнення від продуктивності, зазору між дисками та кількості ножів

Простежимо зміну питомої енергії подрібнення від продуктивності та зміни зазору, між подрібнюючими дисками отримані з додатка 1 рис. 3.1 та 3.2.

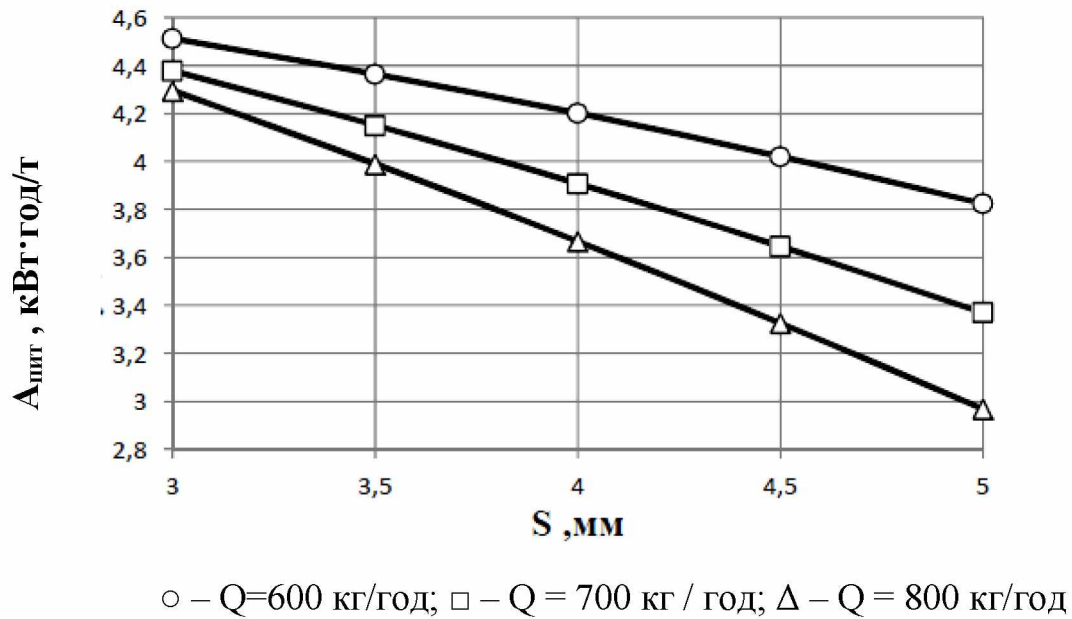


Рис. 3.1 – Зміна питомої енергії подрібнення $A_{шт}$ від зазору S

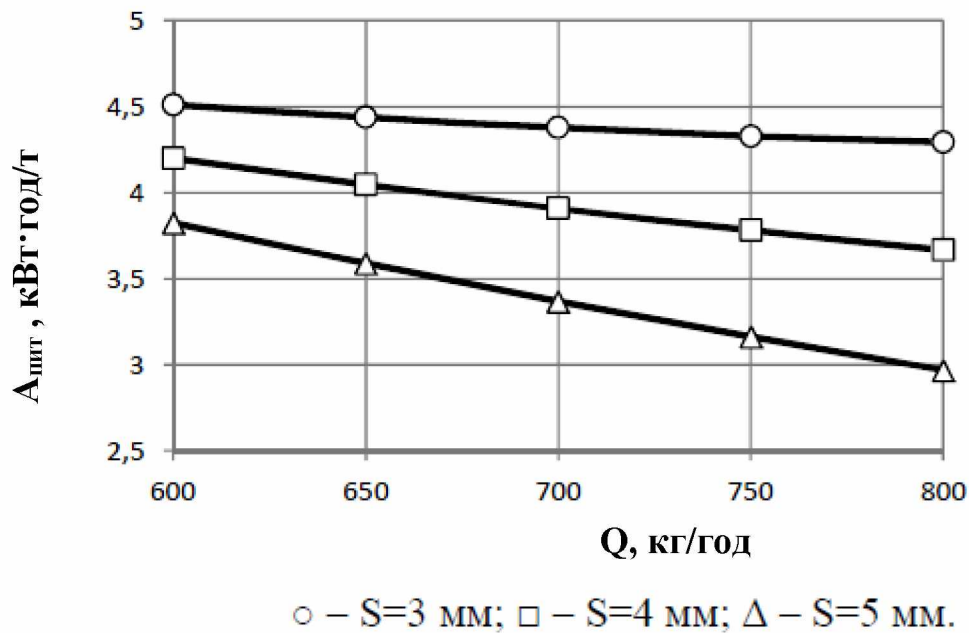


Рис. 3.2 – Зміна питомої енергії подрібнення $A_{шт}$ від продуктивності Q

Отримані результати свідчать про зниження питомої енергії подрібнення

зі збільшенням як зазору між дисками S , а й продуктивності Q . Розкриття цієї обставини вимагає визначення продуктивності у межах окремих досліджень пов'язані з вибором кількості подрібнюючих елементів. Вплив подрібнювальних елементів можна простежити за результатами, наведеними в додатку 1 і на рис. 3.3.

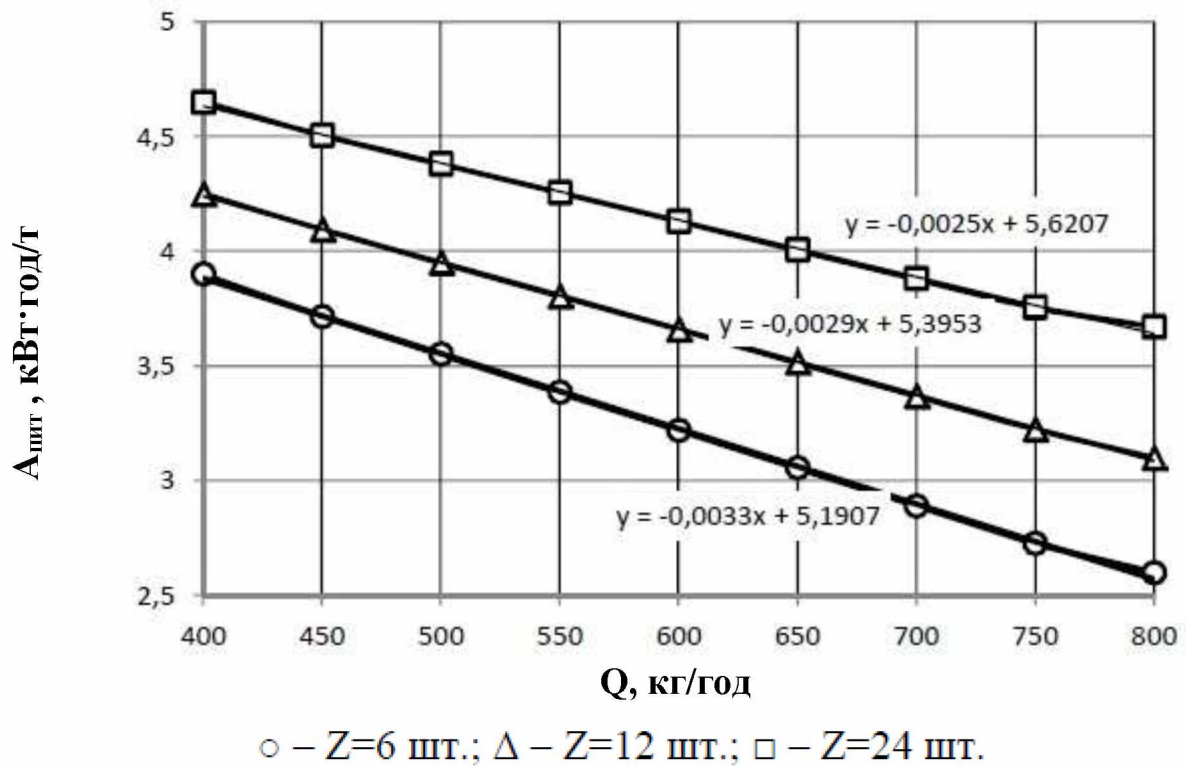


Рис. 3.3 – Зміна питомої енергії $A_{\text{пит}}$ подрібнення від продуктивності Q за різної кількості ножів Z

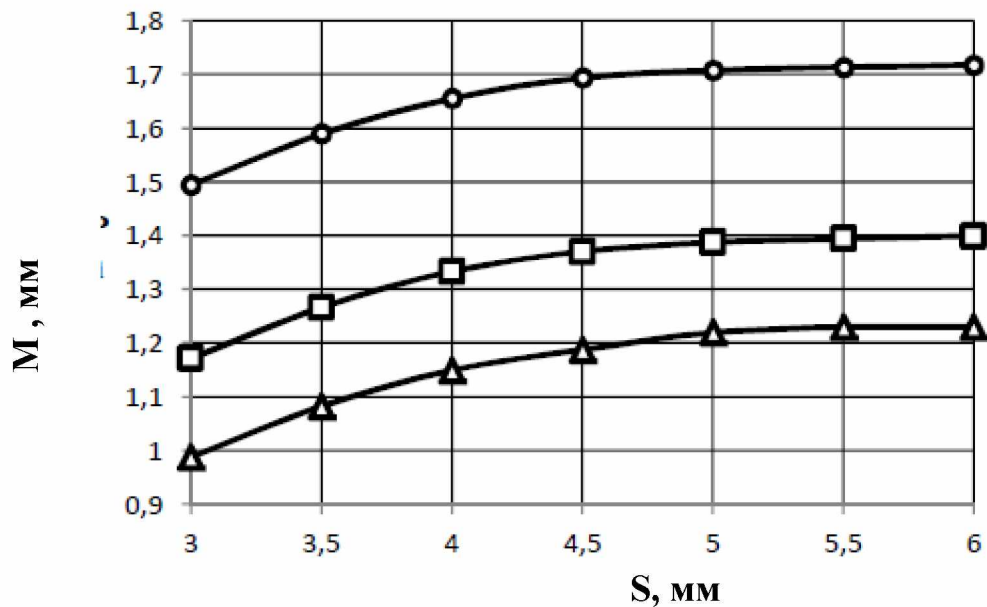
Із графіка однозначно видно збільшення продуктивності подрібнювача та витрати питомої енергії подрібнення зі зростанням числа ножів Z .

Для подальших досліджень приймаємо максимальну кількість ножів 24 штук.

Природне прагнення збільшення продуктивності має бути пов'язане як з енерговитратами, а й з якістю подрібненого зерна. В рамках досліджуваних рівнянь регресії виявилось однозначне зниження питомої енергії подрібнення при збільшенні S , проте потрібно вирішити питання в подальших дослідженнях як позначиться збільшення зазору та продуктивності на модуль помелу.

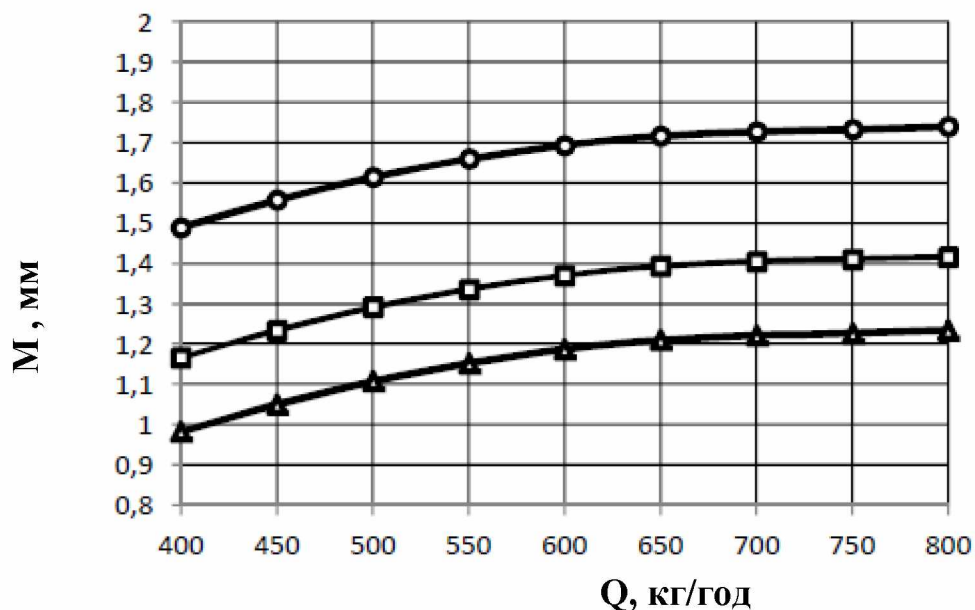
3.2 Залежності модуля помелу від зазору між дисками та величини подачі матеріалу

На рис. 3.4 та 3.5 представлені результати цих досліджень, які свідчать про зростання модуля помелу зі збільшенням зазору S та подачі Q зі збільшенням частоти обертання $N1$ і за сталістю частоти обертання $N2$.



○ – $N1 = 600 \text{ хв}^{-1}$; □ – $N1 = 900 \text{ хв}^{-1}$; Δ – $N1 = 1200 \text{ хв}^{-1}$

Рис. 3.4 – Залежність модуля помелу M від зазору S між дисками



○ – $N1 = 600 \text{ хв}^{-1}$; □ – $N1 = 900 \text{ хв}^{-1}$; Δ – $N1 = 1200 \text{ хв}^{-1}$

Рис. 3.5 – Залежність модуля помелу M від величини подачі матеріалу Q

У діапазоні зміни частоти $N1$ від 600 до 1200 хв^{-1} модуль помелу

змінюється у більшу сторону і ця зміна при зазорі між дисками 3,5 мм становила 1, 1- 1,6 мм. Однак зміна огорожі до 3 мм дозволяє отримати модуль помелу не більше 1 мм. Слід розуміти, що зменшення проміжку до 2,0-2,5 мм дозволить отримати дрібний помел. Також варто відзначити, що необхідний модуль помелу можна отримати за рахунок встановлення зазору, що рекомендується, проставками між подрібнюючими дисками і відмовитися від використання змінних шківів на привід.

Подальшого вивчення потребує залежність питомої енергії подрібнення та $E_{\text{под}}$ від модуля помелу.

3.3 Зміна питомої енергії та енергоємності процесу подрібнення від модуля помелу та зазору між дисками

При дослідженнях молоткових дробарок та ударно-відцентрового подрібнювача це питання заслуговує на окрему увагу, оскільки отримані результати свідчать про зниження питомої енергії та енергоємності процесу при збільшенні модуля помелу. На рис. 3.6 та 3.5 представлені результати, що підтверджують прямий вплив удару та різання-сколу на енергетичні показники процесу подрібнення зерна при $Q=\text{const}$.

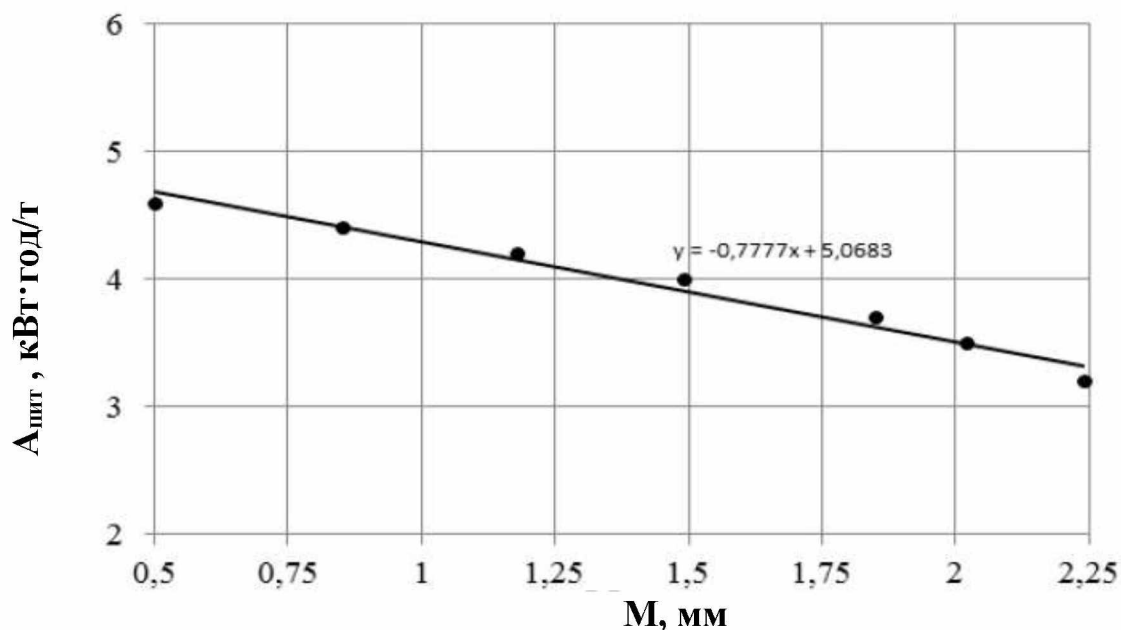


Рис. 3.6 – Зміна питомої енергії подрібнення $A_{\text{пит}}$ від модуля помелу M
 Значне зниження енерговитрат на подрібнення спостерігається за рахунок

сукупного впливу різання та удару, що має місце в даній конструкції, а можливість регулювання ступеня впливу на процес подрібнення дозволяє отримувати продукт потрібної якості.

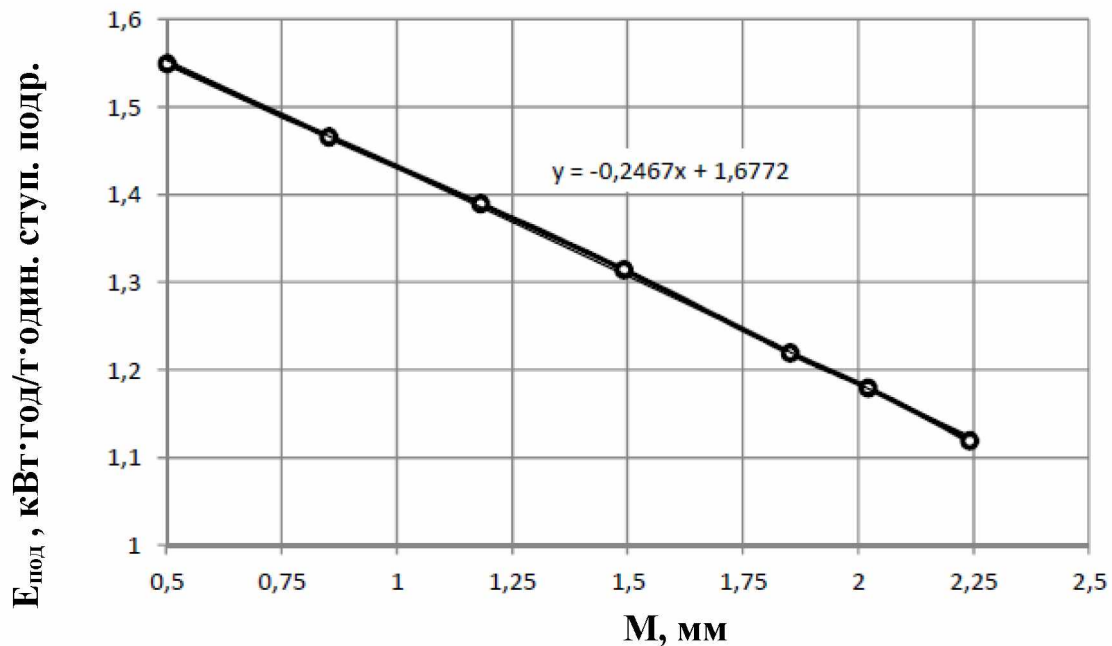


Рис. 3.7 – Залежність енергоємності процесу подрібнення зерна $E_{\text{подр}}$ від модуля помелу M

Так при такому вплив робочих елементів на зерно $A_{\text{шт}}$ при мінімальному модулі помелу не перевищує 4,8 кВт ч/т, а енергоємність процесу скоротилася до 1,55 кВт·год/т·одиниць ступеня подрібнення.

Аналогічна картина спостерігається і за зміни зазору S . На рис. 3.8 представлені дані про зниження енергоємності, так збільшення зазору з 3 мм до 5 мм дозволяє знизити енергоємність процесу з 1,55 до 1,17 кВт·год/т·одиниць ступеня подрібнення.

Зменшення огорожі до розміру менше 2 мм недоцільно, тому що через неточність виготовлення подрібнювача та зношування підшипникових вузлів зростає небезпека зустрічного удару ножів. Отже, мінімальний зазор між ножами повинен бути 3 мм. При цьому забезпечується мінімальний модуль подрібнення до 0,5 мм.

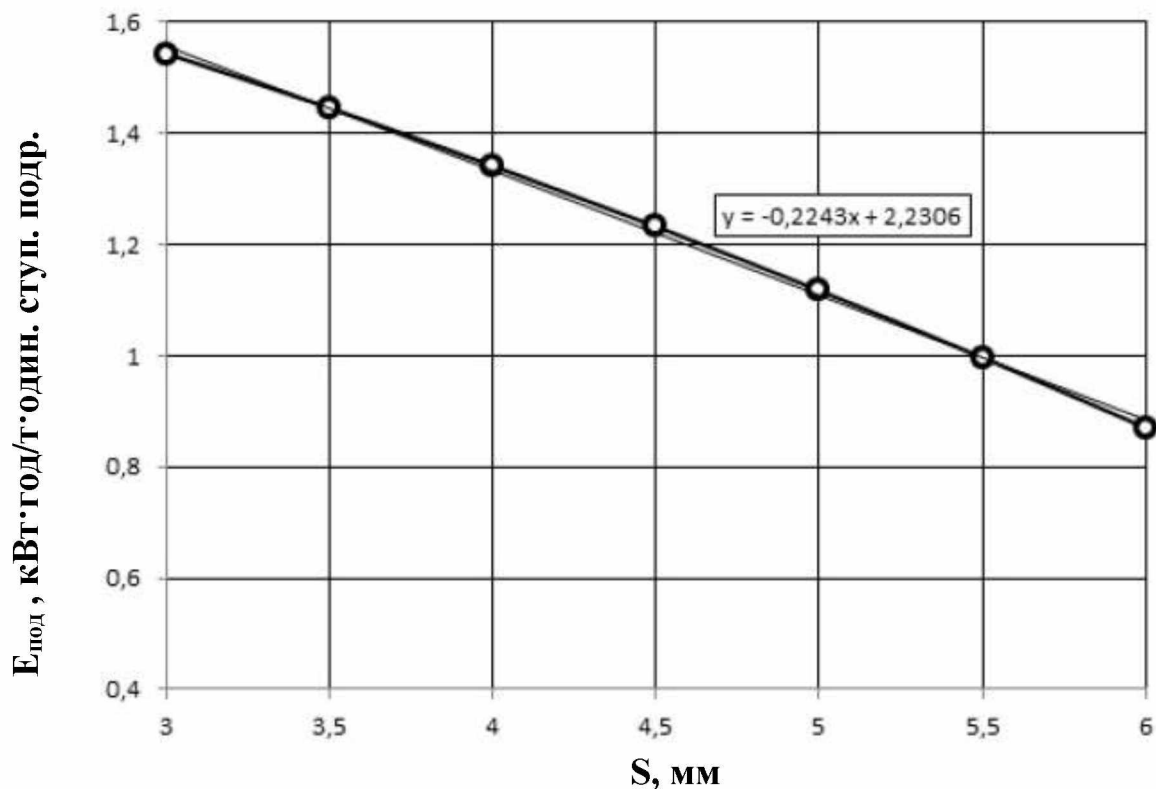
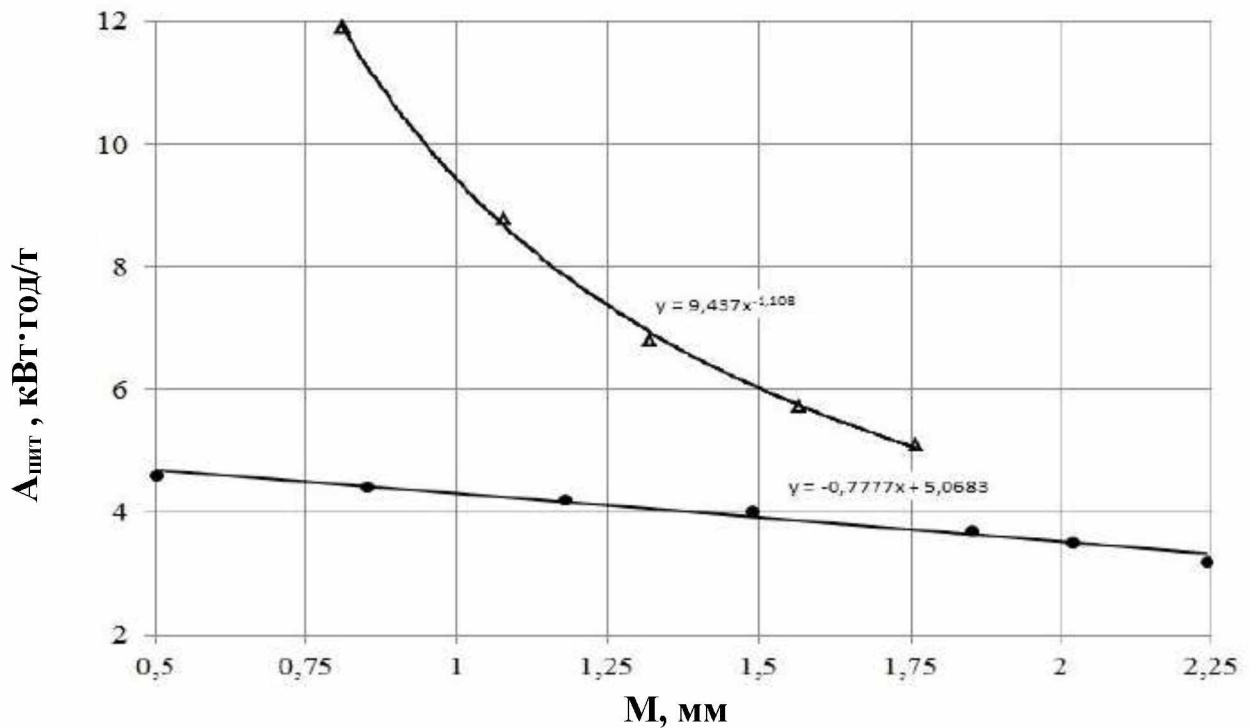


Рис. 3.8 – Залежність енергоємності процесу подрібнення зерна $E_{\text{под}}$ від зазору S

3.4 Порівняльна оцінка результатів подрібнення ячменю молотковою дробаркою КДУ-2 та ударно-відцентровим подрібнювачем

Досліди з подрібнення ячменю вологістю 13% проводили по черзі. Продуктивність ударно-відцентрового подрібнювача задавалася дозатором ТДК і дорівнювала 900 кг/год. Ступінь подрібнення продукту змінювалася зазором між подрібнюючими дисками. У молотковій дробарці ступінь подрібнення та продуктивність змінювалися послідовною установкою решіт з діаметром отворів 2, 4, 6, 8 мм при завантаженні електродвигуна до номінальної потужності, що контролюється за допомогою амперметра. Величина одержуваного продукту визначалася за описаною раніше методикою ситовим методом. На рис. 3.9 представлені порівняльні результати питомої витрати електроенергії від модуля подрібнення при подрібненні ячменю в ударно-відцентровому подрібнювачі та кормодробарці КДУ-2.



Δ – КДУ – 2; ● – експериментальна установка

Рис. 3.9 – Порівняльні результати питомої витрати електроенергії від модуля помелу

При однаковому модулі помелу 0,81 (дрібний), 1,18 (середній) і 2,2 (великий) спостерігається тенденція великої витрати питомої енергії при використанні молоткової дробарки, причому при дрібному подрібненні витрачається питомої енергії в 2,69 рази більше. При середньому подрібненні різниця витрати енергії на процес зменшується до величини 1,9, але залишається суттєвою для подрібнення зерна для ВРХ.

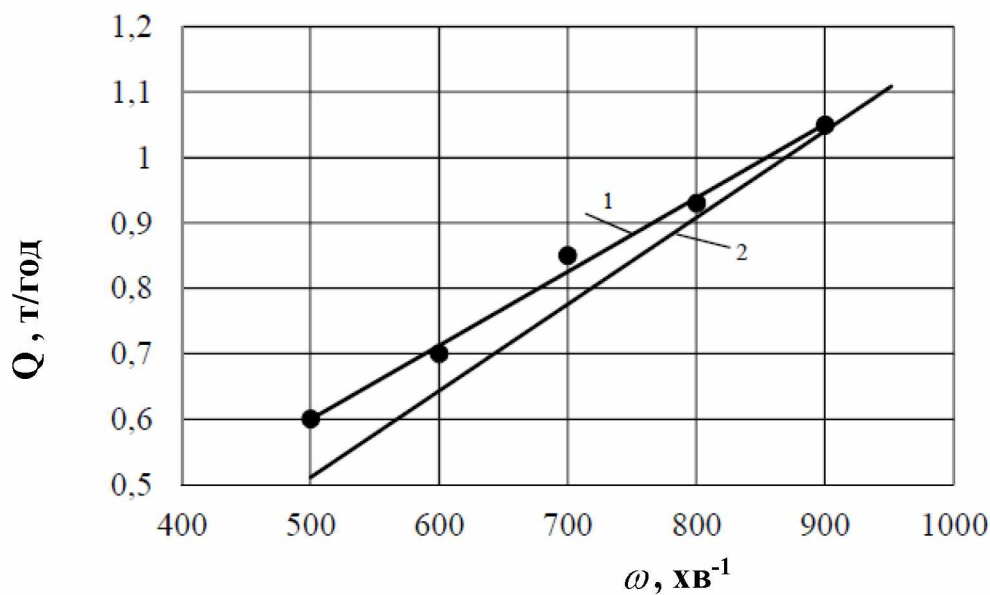
Аналіз гранулометричного складу одержуваного продукту показав велику його вирівняність [25, 30].

Отже, показники витрати енергії та вирівняність гранулометричного складу свідчать про значні переваги роботи відцентрово-ударного подрібнювача перед молотковою дробаркою.

3.5 Залежності продуктивності ударно-відцентрового подрібнювача від швидкості подрібнюючи дисків

Дослідження, виконані на лабораторній установці (див. рис. 2.1),

представлені на рис. 3.10. Умови проведення дослідів відповідали програмі розробленої в розділі 2. Подача зерна в подрібнювач змінювалася за допомогою тарілчастого дозатора в діапазоні від 0,6 т/год до 1,05 т/год і контролювалася відбором проб при режимі роботи. Максимальне значення зерна, що подається, відповідало початку самообмеження завантаження установки. На графіку поєднані залежності теоретичної та фактичної продуктивності від оборотів завантажувального диска. Графіки побудовані за результатами поданими у додатку 1.



1 - експериментальна; 2-теоретична

Рис. 3.10 – Вплив частоти обертання завантажувального диска на продуктивність подрібнювача

Аналізуючи отримані результати можна зробити висновок про суттєвий вплив колової швидкості на продуктивність, яка змінюватиметься в межах від 600 кг/год до 1050 кг/год. Розбіжність в отриманих результатах експериментальним та теоретичним шляхом не перевищує більше 8% при малій продуктивності, а при досягненні максимальної продуктивності відхилення становило менше 1%. При цьому характер зміни відповідає прямолінійній залежності та наявність відхилення теоретичних та практичних результатів можна пояснити мінливістю коефіцієнта заповнення зерном міждискового простору. При частоті обертання завантажувального диска до 900 хв⁻¹ фактичне значення продуктивності більше за теоретичне.

Висновки до розділу

Зі зменшенням модуля помелу питома витрата енергії та енергоємність процесу подрібнення зерна зростають, проте при спільному впливі удару та сколу-різання на енергетичні показники процесу подрібнення зерна ударно-відцентрового подрібнювача, при мінімальному модулі помелу не перевищують 4,8 кВт·год/т, а енергоємність процесу скорочується до 1,55 кВт·год/т·од. ступеня подрібнення. Збільшення робочого проміжку між подрібнюючими дисками до 5 мм призводить до зниження енергоємності до 1,17 кВт·год/т·од. ступеня подрібнення.

За результатами експериментальних досліджень обрано оптимальні значення досліджуваних параметрів, при яких забезпечуються тонкий, середній та великий помел. Так при тонкому помелі ($M=0,6-0,8$ мм) необхідно встановлювати зазор у межах $S=3$ мм, а при середньому помелі ($M=1,0-1,8$ мм) величина зазору $S=4$ мм, при великому помелі ($M=1,8-2,2$ мм) величина зазору $S=5$ мм.

Експериментальний ударно-відцентрового подрібнювача забезпечує високі показники якості подрібнення, низьку енергоємність процесу, що досягаються за рахунок обґрунтованого вибору раціональних, режимних та конструктивних параметрів, а саме: кількість ножів – 24 шт.; максимальний діаметр дисків – 320 мм; діаметр завантажувальної камери – 100 мм; частота обертання завантажувального диска – 900 хв⁻¹; частота обертання відбійного диска – 2750 хв⁻¹; зазор між ножами дисків при тонкому помелі – 3 мм, середньому помелі – 4 мм, великому помелі – 5 мм.

На суміщених графіках теоретичної та фактичної продуктивності видно, що фактична продуктивність істотно залежить від частоти обертання завантажувального диска і при частоті 900 хв досягає максимального значення 1050 кг/год. Розбіжність в отриманих результатах експериментальним та теоретичним шляхом не перевищує 8%, а при досягненні максимальної продуктивності різниця у результатах склала менше 1%.

4 Рекомендації щодо практичної реалізації досліджень

4.1 Результати перевірки дослідного зразка подрібнювача

Перевірка працездатності ударно-відцентрового подрібнювача в умовах виробництва проводилась у кормоприготувальному цеху цеху ДП «Зоря» Золотоніського району Черкаської області.

Подрібнення піддавали ячмінь: засміченість домішками 3%, вологість зерна 13-14%. Як зразок для порівняння використовувалася серійна дробарка КДУ-2, що застосовується у господарстві для дроблення зерна. На дробарці КДУ-2 для порівняльних випробувань були встановлені нові молотки та решето. У табл. 4.1 представлені техніко-економічні показники порівнюваних подрібнювачів.

Таблиця 4.1 – Техніко-економічні показники виробничої перевірки

Показники	КДУ-2	Подрібнювач експр.
Продуктивність при подрібненні зерна, т/год	3	1,2
Питома енергоємність, кВт·год/т	12,5	5
Середньозважений розмір готового продукту, мм	1,2	1,0

За підсумками попередніх випробувань ударно-відцентрового подрібнювача та КДУ-2 видно, що його показники експериментального подрібнювача порівняно з молотковою дробаркою набагато кращі, у зв'язку з тим, що питомі енерговитрати вдвічі нижчі за порівняно однакових розмірів готового продукту.

4.2 Розрахунок економічної ефективності ударно-відцентрового подрібнювача

У табл. 4.2 наведено вихідні дані до розрахунку. Річний обсяг продукції взято як середню кількість фуражного зерна, що подрібнюється для годівлі

худоби у ДП «Зоря» за останні три роки (2018, 2019, 2020).

Таблиця 4.2 – Вихідні дані для оцінки проекту удосконалення подрібнювача

Показники	Варіанти	
	Базовий	Проект
	КДУ-2	пристрій
Термін експлуатації, років	8	8
Кількість машин	1	1
Річне завантаження, год	500	500
Вироблення (за сировиною), т/год	3,0	3,6
Обсяг переробки за рік, т	1500,0	1500,0
Встановлена потужність, кВт	30	18
Коефіцієнт використання електричної потужності двигунів, %	88	95
Кількість обслуговуючого персоналу, чол	1	I
Вартість установки, тис. грн	250,0	70,9
Норма амортизаційних відрахувань, %	12,5	12,5
Норма відрахувань на ТО, ремонт %	6	6
Рівень оплати праці з нарахуваннями, грн./год	122,1	122,1

При аналізі економічної ефективності роботи запропонованої установки використовувалися методики, викладені у працях С.А. Горланова та Є.В. Злобіна [46]. Базовим варіантом є молоткова дробарка КДУ-2.

При використанні розробленого подрібнювача та КДУ-2 обсяг сировини, що переробляється, і річне завантаження машин у годинах залишається незмінним. У той же час встановлена потужність подрібнювача скорочується в 1,7 разу, його годинниковий виробіток по сировині зростає на 20%, а коефіцієнт використання потужності електродвигуна підвищується на 7%.

Таблиця 4.3 – Розрахунок вартості електроенергії

Показники	Базовий варіант	За проектом
Річне завантаження, год	500	500
Вироблення (за сировиною), т/год	3	3,6
Обсяг переробленої сировини за рік, т	1500	1500
Кількість машин для виконання річного обсягу робіт	1,0	3,0
Встановлена потужність, кВт	30,0	18,0
Кількість годин машин у роботі	500	1250
Потреба електроенергії за рік, кВт·год	13200	7125
Ціна електроенергії, грн/кВт·год	5,81	5,81
Вартість електроенергії протягом року, тис. грн	76,6	41,4
Питома енергоємність, кВт·год/т	8,8	4,8
Економія (+), перевитрата (-) електроенергії, кВт·год		
у розрахунку на 1т		4,05
всього за рік		6075,0
Вартість електроенергії, грн/т	51,09	27,58

Для заміни застарілого КДУ-2 за проектом потрібно для переробки базового обсягу сировини три проектовані подрібнювачі. Кількість машино-годин у роботі збільшується з 500 до 1250 год., тобто у 2,5 рази. Це з тим, що годинне вироблення (за сировиною) за базовим варіантом становить 3 т/год, а, по проекту 3,6 т/год, тобто годинний виробіток за трьом проектованим подрібнювачем зростає на 20% порівняно з КДУ-2. Потреба електроенергії протягом року скорочується в 1,85 разу з допомогою зниження потужності електродвигунів за проектом на 12 кВт, що зумовлює економію електроенергії.

Зниження обсягу вартості вкладень у три проектованих подрібнювачів до 212,7 тис. грн в порівнянні з вартістю базової машини КДУ-2 на 17,5%, зростання годинної переробки сировини на 20% і зниження перевитрати споживаної електроенергії призводить за постійної чисельності обслуговуючого персоналу до економії експлуатаційних витрат при подрібненні зерна в розмірі

52340 грн та отримання річного економічного ефекту 53 тис. грн.

Якщо всі витрати на виготовлення трьох подрібнювачів вважатимуться капітальними вкладеннями і вони окупляться лише за рахунок економії експлуатаційних витрат, то ми отримаємо такі показники економічної ефективності проектної розробки (табл. 4.4).

Таблиця 4.4 – Економічна ефективність удосконалення робочого процесу, при застосуванні проектного відцентрово-ударного подрібнювача

Показники	КДУ-2	Пристрій
Термін експлуатації, років	8	8
Капітальні вкладення, тис. грн	250,0	212,7
Встановлена потужність, кВт	30	18
Кількість обслуговуючого персоналу, чол.	1	1
Вироблення (за сировиною), т/год	3,0	3,6
Питома енергоємність кВт·год	12,5	4,8
Трудомісткість переробки, чол·год/т	0,333	0,278
Експлуатаційні витрати, грн/т	122,61	87,72
Річний економічний ефект, тис. грн	-	78,93
Термін окупності, рік	-	3,8

В умовах ринку важливе значення для збільшення виробництва тваринницької продукції має не тільки застосування для кормоприготування продуктивніших, але й дешевших систем машин і технологій. Запропонована нами розробка показала досить високий економічний ефект заміни дробарки КДУ-2 більш дешевим і менш енерговитратним ударно-відцентровим подрібнювачем. Його використання призведе до зростання продуктивності праці, скорочення експлуатаційних витрат за всіма статтями витрат. Річний економічний ефект складе 78,93 тис. грн, а проект окупиться за 3,8 року.

Загальні висновки

Проведені теоретичні та експериментальні дослідження дозволяють зробити такі висновки:

Ефективність згодовування можна підвищити за рахунок оптимізації розмірів частинок подрібненого зерна для кожного виду тварин відповідно до зоотехнічних вимог. Переподрібнення корму негативно позначається на здоров'ї та продуктивності тварин, збільшує енергоємність процесу, погіршує умови праці людини. Процес подрібнення зерна складне та недостатньо вивчене явище. Отримані знання, що склалися, не дозволяють однозначно відповісти на багато принципових питань, наприклад про кількість і швидкість удару, необхідних для повного руйнування зернівки.

Ударні відцентрові подрібнювачі фуражного зерна є новим типом обладнання для подрібнення. Вони мають низьку питому витрату енергії, що витрачається на процес і меншою металоємністю, ніж молоткові дробарки. Їх впровадження у виробництво стримується відсутністю методик інженерного розрахунку та проектування даних конструкцій.

Розроблено математичну модель процесу подрібнення зерна, що дозволяє визначити швидкість руху зерна по вертикальній поверхні завантажувальної камери подрібнювача та основи зуба ножа, що більшою мірою залежить від кутової частоти обертання дисків та від величини переміщення зернівки.

Встановлено аналітичну залежність продуктивності подрібнювача, що враховує його конструктивні та режимні параметри: діаметр приймальної камери (D_0 , м), частоту обертання дисків (ω , с^{-1}), довжину ножа (L , м), їх кількість (Z , шт) та товщину (δ , м), а також ступінь заповнення міждискового простору (K_3) і якості подрібнюваного матеріалу.

За результатами експериментальних досліджень визначено раціональні значення досліджуваних параметрів, при яких забезпечуються тонкий, середній та великий помел. Так, при тонкому помелі ($M=0,6-0,8$ мм) необхідно встановлювати зазор у межах $S=3$ мм, а при середньому помелі ($M=1,0-1,8$ мм) величина зазору $S=4$ мм, при великому помелі ($M=1,8-2,2$ мм) величина зазору

S=5 мм більше 5%, виключивши з одержаної маси цілі зерна.

Запропоновано нову конструкцію подрібнювач, що забезпечує високі показники якості подрібнення, низьку енергоємність процесу, що досягаються за рахунок обґрунтованого вибору раціональних, режимних та конструктивних параметрів, а саме: кількість ножів - 24 шт.; максимальний діаметр дисків - 320 мм; діаметр завантажувальної камери - 100 мм; частота обертання завантажувального диска - 900 хв^{-1} ; частота обертання відбійного диска – 2750 хв^{-1} .

На суміщених графіках теоретичної та фактичної продуктивності видно, що фактична продуктивність істотно залежить від частоти обертання завантажувального диска і при частоті 900 хв досягає максимального значення 1050 кг/год. Розбіжність в отриманих результатах експериментальним та теоретичним шляхом не перевищує 8%, а при досягненні максимальної продуктивності різниця у результатах склала менше 1%.

Економічний ефект від впровадження установки становить 79 тисяч грн, розмір економічного ефекту за термін служби становить 1617 тисяч грн, а проект окупиться за 3,8 року.