

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

ФЕСЕНКО КИРИЛО РУСЛАНОВИЧ

УДК 621.926.2

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ
ДРОБАРКИ ПРОРОЩЕНОГО ЗЕРНА
208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело
_____ Фесенко К.Р.

Керівник роботи

Савченко В.М.

кандидат технічних наук, доцент

Житомир – 2022

АНОТАЦІЯ

Фесенко Кирило Русланович. Обґрунтування конструктивних параметрів дробарки пророщеного зерна. – *Кваліфікаційна робота на правах рукопису.*

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2022.

В магістерській роботі на підставі аналізу відкритих джерел інформації запропоновано для подрібнення пророщеного зерна рекомендується використовувати дробарку з двома видами робочих органів, які забезпечуватимуть дроблення зернівки та різання паростків. Визначено напрямок розробки дробарки пророщеного зерна, обґрунтовано його конструктивно-технологічну схему.

В результаті експериментальних досліджень процесу подрібнення пророщеного зерна за розробленими методиками встановлено, що застосування в одній камері молотків і ножів дозволяє отримати при подрібненні зерна пророщеного матеріалу, середні розміри якого становлять 1,1...1,3 мм.

В результаті експериментальних досліджень з оцінки енергоємності процесу подрібнення встановлено: при подрібненні ножами енергоємність склала 5,76...7,2 кВт год/т при модулі помелу 1...1,25 мм та куті заточування ножа 12...22 град. і за частоті обертання ножового барабана 2520...2960 хв⁻¹. Встановлено, що при продуктивності дробарки 0,52 т/год та зменшенні ступеня подрібнення паростків з 24,17 до 20,71 одиниць енергоємність подрібнення зростає з 6,2 до 7,23 кВт/год. Загальна енергоємність процесу подрібнення пророщеного зерна, у тому числі паростків та зернівки, зміниться з 8 до 9,35 кВт год/т.

Ключові слова: дробарка, пророщене зерно, енергоємність, продуктивність, барабан

ANNOTATION

Kyrylo Ruslanovych Fesenko. Justification of the design parameters of the germinated grain crusher. – *Qualification work on the rights of the manuscript.*

Qualifying work for a master's degree in specialty 208 – Agricultural Engineering. – Polissya National University, Zhytomyr, 2022.

In the master's thesis, on the basis of the analysis of open sources of information, it is proposed to use a crusher with two types of working organs for crushing germinated grain, which will ensure crushing of grain and cutting of sprouts. The direction of the development of the sprouted grain crusher is determined, and its structural and technological scheme is substantiated.

As a result of experimental studies of the process of grinding germinated grain according to the developed methods, it was established that the use of hammers and knives in one chamber makes it possible to obtain germinated material, the average size of which is 1.1...1.3 mm.

As a result of experimental studies on the evaluation of the energy intensity of the grinding process, it was established that: when grinding with knives, the energy intensity was 5.76...7.2 kW h/t with a grinding module of 1...1.25 mm and a knife sharpening angle of 12...22 degrees. and at the frequency of rotation of the knife drum 2520...2960 min⁻¹. It was established that with a crusher productivity of 0.52 t/h and a decrease in the degree of grinding sprouts from 24.17 to 20.71 units, the energy intensity of grinding will increase from 6.2 to 7.23 kW/h. The total energy consumption of the process of grinding germinated grain, including sprouts and kernels, will change from 8 to 9.35 kWh/t.

Key words: crusher, germinated grain, energy intensity, productivity, drum.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ, МЕТА ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ ДРОБЛЕННЯ ПРОРОЩЕНОГО ЗЕРНА.....	9
РОЗДІЛ 2. ОБГРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНО-РЕЖИМНИХ ПАРАМЕТРІВ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ ДРОБАРКИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ.....	22
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ТА АНАЛІЗ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	32
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	35
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	36

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. В даний час особливу увагу приділено розвитку сільського господарства. Зараз як рослинництво, так і тваринництво потребують нових і водночас простих і зрозумілих технологій та технічних рішень.

Для отримання м'яса вирощують велику рогату худобу, птицю, а також свиней. Сьогодні свинарство дуже розвинена галузь. Це вигідно за низкою показників. Насамперед, свині дуже швидко ростуть. Низьке відношення споживання корму на кілограм приросту ваги [1, 2]. Відрізняються свині високою плідністю та коротким часом відтворення. М'ясо свиней цінується за своїми смаковими якостями та поживними властивостями. М'ясо та сало добре перетравлюються на 95 та 98% відповідно.

При промисловому веденні свинарства тварин утримують у приміщеннях безвигульно та годують лише комбікормами.

Правильне, повноцінне годування тварин може бути виконане тільки при знанні їхньої потреби та забезпечення в елементах харчування, мінеральних речовинах, вітамінах [3].

У процесі еволюції організм тварин пристосувався до великої різноманітності кормів, одним із яких є зелені корми. При видачі тварині кормів поживні речовини впливають на організм тварини окремо друг від друга, а сукупності [4 – 13]. Одним із дешевих способів збагачення комбікорму природними вітамінами є додавання пророщеного зерна до комбікорму. При видачі пророщеного зерна окремо від комбікорму, сильніші тварини поїдатимуть більшу частину, а слабкі - отримуватимуть менше за розраховану норму. Щоб усі тварини, що знаходяться в боксі, отримували масу пророщеного зерна, прямо пропорційно з'їденому корму, необхідно додати до комбікорму пророщене зерно і отримати, таким чином, кормову суміш. Пророщене зерно є неоднорідною структурою, воно складається із самого зерна і паростка, тобто є неоднорідною

масою [2, 4]. Середня довжина паростка становить 2,5 – 3 см, що перевищує розміри частинок комбікорму. Щоб отримати кормову суміш на основі пророщеного зерна, необхідно його подрібнити, потім перемішати пророщене зерно з комбікормом.

Щоб подрібнити неоднорідний матеріал, яким є пророщене зерно, потрібно використовувати різні види робочих органів. Для подрібнення зерна застосовують молотки, а для подрібнення паростків використовують ножі.

У питаннях подрібнення кормів автори застосовують різні підходи до комплексної оцінки технічних засобів та їхнього функціонування.

Складність подрібнення пророщеного зерна полягає в тому, що матеріал є неоднорідним середовищем і складається з щільнішого зернівки і менш щільного паростка, які відрізняються один від одного щільністю, твердістю, геометричними розмірами, структурою, швидкістю витання, коефіцієнтом парусності. Після подрібнення різних матеріалів необхідно отримати однакові за розміром частинки. Розробка технічних засобів, що забезпечують одержання з пророщеного зерна однорідної подрібненої маси, є важливим завданням.

На підставі виконаних досліджень у дисертації вирішено завдання, яке полягає у теоретичному узагальненні процесу різання паростків пророщеного зерна, розробки теоретичних аспектів дробарки.

Мета роботи – підвищення ефективності подрібнення пророщеного зерна за рахунок оптимізації конструктивно-технологічних параметрів дробарки.

Завдання досліджень:

1. обґрунтувати конструктивно-технологічну схему дробарки з урахуванням неоднорідної структури пророщеного зерна;

2. розробити математичні моделі, що враховують кількість молотків та ножів; обґрунтувати кути заточування ножів; вплив конструктивних та конструктивно-режимних параметрів дробарки на якісні показники процесів; провести розрахунок продуктивності дробарки та енергетичних показників процесу подрібнення;

3. розробити методики оцінки якісних та кількісних показників роботи дробарки;

4. провести експериментальні дослідження та визначити вплив конструктивно-режимних параметрів на якісні та кількісні показники роботи дробарки, виконати оптимізацію конструктивних та режимних параметрів дробарки пророщеного зерна;

5. виконати виробничу перевірку та оцінити техніко-економічні показники дробарки пророщеного зерна.

Об'єкт дослідження. Процес подрібнення пророщеного зерна робочими органами дробарки.

Предмет дослідження. Закономірності подрібнення паростків пророщеного зерна робочими органами дробарки.

Методи дослідження. Запропонована дробарка досліджувалися у лабораторних та виробничих умовах відповідно до діючих ДСТУ та розроблених методик з використанням сертифікованих приладів та обладнання.

Результати досліджень оброблялися з використанням методів дисперсійного та регресійного аналізу на ПЕОМ програмами "MathCAD 14", "Excel 2007", "Компас 3DV16".

Перелік публікацій за темою роботи:

1. Савченко В. М., Писаренко А. В. Методика проведення експериментальних досліджень дробарки пророщеного зерна. Наукові читання—2022: матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та енергетики. 7 червня 2022 р. Житомир: Поліський національний університет, 2022. С. 42-44.

2. Савченко В. М., Фесенко К.Р. Класифікація способів подрібнення зерна. *Збірник тез доповідей XXIII Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки"* (16–18 жовтня 2022 року). МОН України,

Національний університет біоресурсів і природокористування України, Житомирський агротехнічний фаховий коледж. Київ. Житомир. 2022. С. 339-242.

3. *Фесенко К.Р.* Класифікація способів та технічних засобів для подрібнення зерна. *Збірник тез VII Всеукраїнської науково-практичної конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь»* 31 березня 2021 року, м. Житомир. С. 277.

Практичне значення одержаних результатів. Практичний інтерес представляє конструктивно-технологічна схема дробарки пророщеного зерна, яка забезпечує рівномірне подрібнення зерна та паростків.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 15 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 44 сторінки комп'ютерного тексту, містить 29 рисунків та 6 таблиць

РОЗДІЛ 1

СТАН ПИТАННЯ, МЕТА ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ ДРОБЛЕННЯ ПРОРОЩЕНОГО ЗЕРНА

1.1 Класифікація способів та технічних засобів для подрібнення зерна

Оснoву комбiкормiв складає пiдготовлена вiдповiдним чином зернова сировина, а також рiзні кормові добавки та премікси.

Технологічний процес пiдготовки зернової частини комбiкорму складається з послiдовних операцій: видiлення iз зерна домішок, подрiбнення зерна, дозування окремих компонентiв у змiшувач згiдно з рецептом, перемiшування, облік отриманого комбiкорму.

Машини для подрiбнення кормової сировини рiзні за принципом дії. Можуть бути універсальними або спеціалізованими. При роботі вальцьових млинiв вiдбувається затягування матерiалу в зазор мiж вальцями та вiдбувається його руйнування. Вальці здiйснюють обертання з рiзними частотами. Кiнцевий рiзмір продукту регулюють шляхом змiни проміжку мiж вальцями. У жорнових млинах один валець обертається вiд приводу, а iнший за рахунок сил тертя мiж продуктом, що подрiбнюється, і провідним жорном. Такий спiсiб подрiбнення застосовують у жорнових млинах.

У плющилках застосовують схожу конструкцію з тiєю рiзницею, що на виході отримують не подрiбнений на борошно продукт, а сплющені в пластiвці. Товщина отриманих пластiвцiв залежить вiд зазору мiж плющильними вальцями та вологiстю продукту.

У процесі подрiбнення зерна вiдбувається збiльшення площі поверхні частинок, тому потрапляючи в організм тварин, такий продукт бiльшою поверхнею в порiвнянні з нездрiбненим продуктом буде взаємодіяти зi шлунковим соком тварини, внаслідок чого поживні речовини засвоюються краще. Згодовування переподрiбненого продукту може призвести до захворювання

шлунково-кишкового тракту. Кінцевий розмір частинок подрібненого продукту залежить від виду тварини або птиці, вікової групи. Так для годування свиней розмір частинок комбікорму повинен становити 0,9 - 1,4 мм, для птахів 1,8 - 2,5 мм, для додавання до корму великої рогатої худоби 1,0 - 1,9 мм.

Оцінку подрібненого продукту необхідно давати не тільки за питомими витратами енергії на подрібнення, і за модулем помелу але й за наявності пилоподібної фракції (менше 0,25 мм) у подрібненому кормі. Переподрібнення призводить до збільшення енергоємності процесу.

Для одержання встановлених кінцевих розмірів зерно подрібнюють на дробарках різних конструкцій. Якщо матеріал має шматки великих розмірів, то спочатку виконують попереднє подрібнення, а потім головне подрібнення.

Велике поширення набули молоткові дробарки за свою простоту конструкції, високу надійність. Молоткові дробарки використовують для подрібнення: зерна, шроту, жому. Встановлююча решета з різним діаметром отворів, регулюємо необхідний розмір частинок. З урахуванням вологості маси, міцності, пропускну здатність та енергоємність дробарок коливається у широких діапазонах. Але у молоткових дробарок є й деякі недоліки, одним із яких є неоднаковий розмір частинок подрібненого продукту.

Роботу подрібнювачів вважають задовільною, якщо забезпечується встановлений кінцевий розмір частинок. Ячмінь потрібно подрібнювати таким чином, щоб залишок на ситі з отворами від 0 до 0,2 мм був меншим за 10%.

Щоб знизити енергоємність процесу подрібнення необхідно розробляти камеру подрібнення, а також підбирати робочі органи дробарки з урахуванням фізико-механічних властивостей продукту. Домогтися мінімальної довжини холостого ходу подрібнюваних частинок усередині камери подрібнення. Для подрібнення продуктів, що мають неоднорідну структуру, необхідно використовувати різні робочі органи.

1.2 Аналіз технічних рішень дробарок

Робота агрегатів для приготування корму полягає в тому, щоб впливати на кормову сировину різними способами, такими як температура, вологість, тиск, механічні способи – зусилля ножа, молотка і ряд інших. Застосування зазначених способів призводить до зміни форми, розмірів, фізико-механічних властивостей вихідної сировини, що застосовують для одержання кормів.

Слід зазначити, що механічні методи підготовки вихідної сировини є одними з основних. Так як при механічній підготовці сировини – подрібненні збільшується загальна поверхня частинок корму, то при підготовці, наприклад, температурної частки більш повно будуть взаємодіяти з оброблюваним середовищем, це сприятиме меншій витраті теплоносія.

Для підготовки зерна до згодовування використовують такі способи, як: плющення, дроблення. При плющенні зерна одержують плоскі пластівці завтовшки 0,5 – 1 мм. Ці пластівці мають вологість понад 14%. Необхідно відзначити, що для можливості зберігання зерна або додавання його до комбікорму та подальшого зберігання його вологість не повинна перевищувати 14 %. При подрібненні зерна дробленням відбувається його механічне руйнування молотками. Кінцевим продуктом після подрібнення зерна є частинки розміром від кількох десятих до кількох міліметрів. Особливістю пророщеного зерна є те, що продукт складається із самого зерна та зеленого паростка. Слід зазначити, що з подрібнення зерна вологістю трохи більше 14 % в якості робочого органу використовують молоток, яким виконують удар. Сила удару і виникаючі внаслідок цього внутрішні напруження в матеріалі перевищують силу молекулярного зчеплення зерна, що призводить до розриву продукту. Для подрібнення зеленої маси застосовують спосіб різання та для його здійснення використовують ножі.

На рис. 1.1 представлено класифікацію дробарок зерна.

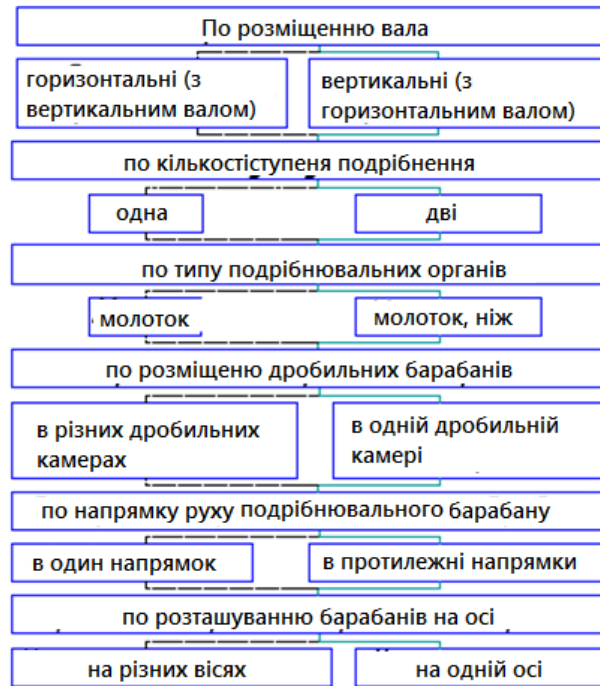


Рис. 1.1. Класифікація агрегатів для дроблення пророщеного зерна

У 2021 році було запропоновано конструкцію дробарки зерна, яка представлена на рис. 2. Наведений агрегат працює так. У завантажувальний бункер подають продукт, який під дією сил тяжіння надходить на конус і розподіляється на його периферії і потрапляє на диск, який приводиться в роботу електродвигуном. Перебуваючи на рухомому диску, продукт взаємодіє зі штифтами, таким чином відбувається його подрібнення. Після цього за рахунок відцентрових сил подрібнена маса проходить через отвір решета.

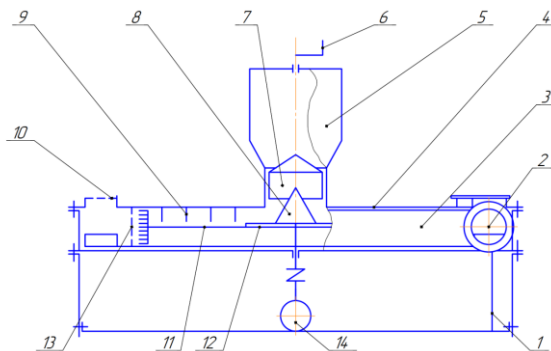


Рис. 1.2. Дробарка зерна: 1 – рама; 2 – патрубок; 3 – робоча камера; 4 – кришка; 5 – бункер; 6 – привід; 7 – обичайка циліндрична; 8 – конус; 9 – штифт; 10 – повітрязабірник; 11 – диск; 12 – кільце магнітне; 13 – решето; 14 – електродвигун.

Недолік конструкції полягає в тому, що штифти розташовані на великій відстані один від одного, що не дозволяє отримувати дрібну фракцію продукту подрібнення.

Співробітники Харківського національного технічного університету імені розробили дробарку (рис. 1.3) [9].

Робота дробарки зерна протікає так. Електродвигун за допомогою клинопасової передачі приводить в роботу ротор 5, на якому розміщені робочі органи. Продукт, який потрібно подрібнити, завантажують в бункер 4,

після чого він скочується похилою поверхнею на центр розгінного диска першого ступеня подрібнення. Продукт, що знаходиться на розгінному диску, за рахунок відцентрових сил, прямує від центру диска 7 до периферії, потім відбувається взаємодія маси з молотками 8 і 9 декою в результаті руйнується маса. Частинки, що відлетіли від деки 9, також повторно потрапляють на молотки, що рухаються. Подрібнення відбувається за рахунок послідовного проходження маси через декілька щаблів робочих органів.

Проміжне накопичення подрібненого або частково подрібненого матеріалу здійснюють у дробильній камері. Розгінними дисками 7 і молотками 8 створюється висхідний потік повітря, який через верхній сепаратор 10 подає подрібнений матеріал з камери подрібнення у внутрішній простір корпусу 1. У дробильну секцію розташовану посередині потрапляє більша фракція, яка не пройшла через сепаратор.

Дробильна секція розташована посередині працює аналогічно верхній після аналогічного проходження укладання третього ступеня продукт, який піддається подрібненню, залишається всередині на похилій поверхні і поступово скочується вниз, потім відбувається накопичення його перед вивантажним отвором і за допомогою лопатевого дозатора вивантажується з дробильної установки. Повітря, що знаходиться всередині дробарки, і містить продукти розмелювання, проходить через фільтр, а потім виходить в атмосферу.

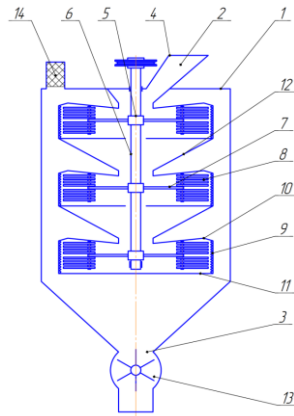


Рис. 1.3. Багатоступенева дробарка: 1 – стінка корпусу; 2 - завантажувальний патрубок; 3 - отвір для розвантаження; 4 – бункер; 5 – ротор; 6 – вал приводний; 7 – диски розгінні; 8 – молоток; 9 – дека; 10, 11 – решето; 12 - похила поверхня; 13 - дозатор лопатевий; 14 – фільтрувальний елемент.

При подрібненні маса проходить через кілька роторів, що подрібнюють і виявляється переподрібненою. Це є наслідком конструктивних недоліків дробарки. При роботі молотків виникають осьові навантаження на молотки, які призводять до їх передчасного зношування. Також три ротори, встановлені на одному валу, складніше балансувати. Тому дробарка буде піддана додатковим вібраціям. Є ударно-відцентрова дробарка з двома зустрічно-обертливими коксіально розташованими роторами [6].

Конструкція дробарки включає раму 1 (рисунок 1.4) опорну плиту, робочі органи у вигляді роторів 2 і 3, що зустрічно обертаються. На роторах в чотири ряди шарнірно закріплені молотки. Ротори встановлені в кожусі подрібнювальної камери. Вивантажувальний патрубок на кожусі дробильної камери виконаний тангенційно. Завантажувальне вікно приймального бункера виконано у вигляді чотирьох сегментних пазів.

Ротори встановлені таким чином, що молотки, закріплені у зовнішньому роторі, входять у зазори між молотками, які розташовані на внутрішньому роторі. В результаті утворюються два ступені активного подрібнення.

Опора зовнішнього ротора змонтована на кришці подрібнення камери, опора внутрішнього ротора змонтована на опорній плиті рами 1.

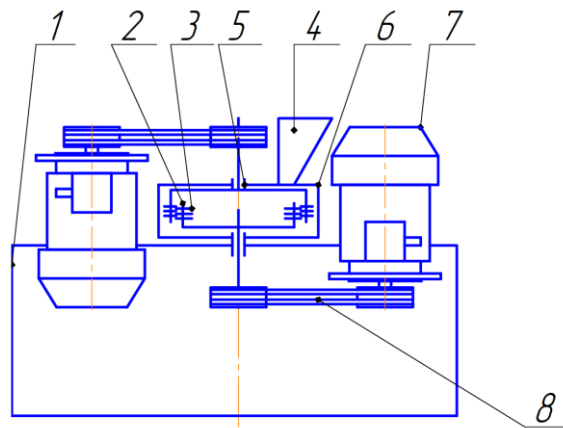


Рис. 1.4. Дробарка ударно-відцентрова: 1 – рама; 2 – ротор; 3 – елемент подрібнювальний; 4 – бункер приймальний; 5 – опора; 6 – кришка; 7 – електродвигун; 8 – передача ремінна.

Недоліком запропонованої установки є необхідність високої точності розташування барабанів щодо одного. В іншому випадку молотки зіткнуться, що призведе до серйозних поломок.

У 2001 р. в Вінницькому аграрному університеті Солових С.Ю., Антимонов С.В., Зайцева Н.В., Ханін В.П. розробили дробарку кормів (рис. 1.5) [6].

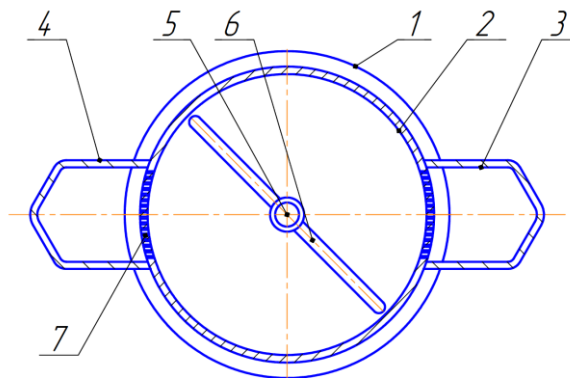


Рис. 1.5. Дробарка кормів: 1 – корпус; 2 - дека; 3, 4 – вивантажувальний патрубок; 5 – вал; 6 – робочий орган; 7 – решітна вставка.

На валу змонтовано ротор. Обичайка встановлена нерухомо щодо ротора. Щоб запобігти попаданню сторонніх предметів, на обичайці встановлена кришка. Обичайка є циліндром, на

утворює якого виконані отвори, які закриті знімними решітками. Вивантажувальні патрубки розташовані за решітними вставками. Щоб унеможливити переподрібнення матеріалу отвори решіт мають різні діаметри.

Робота дробарки здійснюється в такий спосіб. Вимикають привід та доводять частоту обертання робочого органу до номінального значення без навантажень. Після цього всередину подрібнювальної камери подають матеріал, що подрібнює. Відбувається взаємодія матеріалу з робочим органом та обічайкою в результаті продукт подрібнюють.

Недоліками конструкції є висока нерівномірність подрібнення матеріалу. Робочий орган виконаний у вигляді "планки", тому агрегат має високі питомі енерговитрати на подрібнення.

У 2010 р. у Вятській державній сільськогосподарській академії Баранов Н.Ф., Сергеев А.Г., Зикін О.О. розробили молоткову дробарку (рис. 1.6) [61].

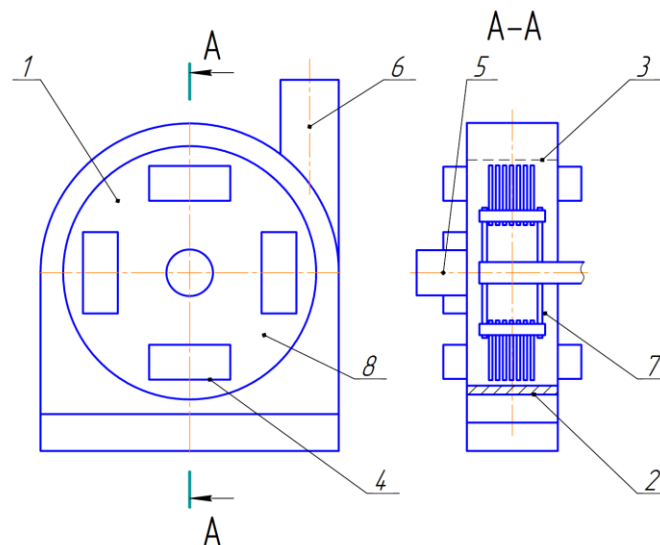


Рис. 1.6. Молоткова дробарка: 1 – камера дробильна; 2 – дека; 3 – решето; 4 – камера вихрова; 5 – горловина завантажувальна; 6 – горловина вивантажувальна; 7 – ротор молотковий; 8 – стінка бічна

З боків камери подрібнення виконані вихрові камери, призначені для отримання потоку повітря. Рух потоку повітря, що утворює молотки дробарки, відрізняється від напрямку потоку повітря, який утворюють вихрові камери.

Робота дробильної установки протікає так. Без навантаження здійснюють включення приводів дробарки. Після виходу молоткового ротора на номінальну частоту обертання, що встановилася, здійснюють завантаження подрібнюваних компонентів. Молотковий ротор взаємодіє з продуктом, що подрібнюється, а також створює потік повітря. Подрібнюваний матеріал взаємодіє з молотками ротора, решета і деки і потрапляє до вихрових камер, у яких відбувається зміна напрямку його руху та наступний вихід з них. Після виходу продукту з вихрових камер у напрямку відмінному від напрямку руху молотка знову відбувається багаторазова взаємодія з молотками, що призводить до дозволу продукту. Після подрібнення до необхідних розмірів продукт через отвори решета буде видалений з дробарки.

Недоліком представленої молоткової дробарки є можливе налипання частинок матеріалу, що подрібнюється на внутрішні поверхні вихрових камер. Це знизить ефективність роботи дробарки. Фахівці Міхлін С.Б., Фаянс Ю.А. 1987 року розробили дробарку (рис. 1.7) [2].

Технологічний процес дробарки протікає так. Без навантаження здійснюють включення дробильної установки. Потім переконавшись, що ротор вийшов на робочі обороти, завантажують продукт, що подрібнюється. При взаємодії з подрібнюючими елементами продукт отримує кінетичну

енергію та під впливом відцентрових сил рухається від центру камери подрібнення. Подрібнений матеріал рухається вздовж стінки, потім потрапляє на кут дев'яносто градусів і різко зупиняється. Після чого змінює напрямок руху і падає у напрямку ротора, де знову з ним взаємодіє. Така процедура з матеріалом здійснюється кілька разів, доки подрібнені частинки не досягнуть необхідних розмірів.

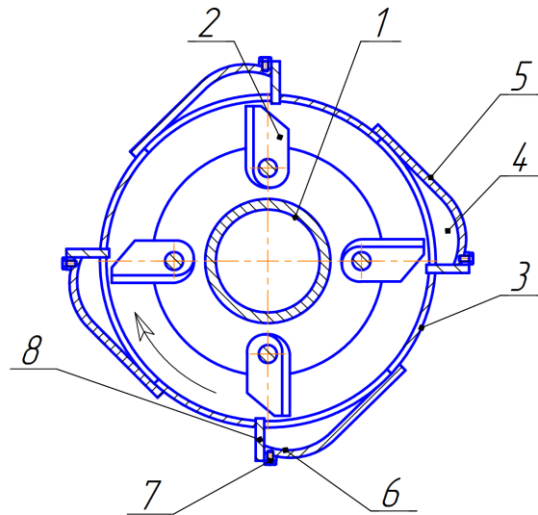


Рис. 1.7. Дробарка: 1 – ротор; 2 – робочий орган; 3 – камера подрібнення; 4 - камера вихрова; 5 – стінка; 6 – кутова частина; 7 – гвинт; 8 – стінка.

Недоліком дробарки є те, що при попаданні на подрібнюючі елементи матеріалу останній відлітатиме до периферії під кутом відмінним від 90°. Тобто, не дробитиметься необхідним чином, а ковзатиме. Це

приведе до підвищеної витрати енергії на подрібнення продукції. При подрібненні в кутах вихрових камер утворюватимуться застійні зони, в яких накопичуватиметься продукт, що подрібнюється. Це буде призводити до того, що матеріал, що подрібнюється, виходитиме з вихрової камери не в напрямку центру подрібнюючої камери, а по дотичній. В результаті якість подрібнення погіршуватиметься.

Bechler David і Butts Stephen у 1988 р. запропонували вертикальну ударну дробарку зі змінними сегментами кільця дробарки EP0261913. (Рисунок 1.8) [63]

До складу дробарки входять привід 1, для приводу робочого органу використовується клинопасова передача 2, для підвищення продуктивності присутній механізм завантаження 3, дробильної камери 4, бункера завантажувального 5, напрямної труби 6. Дробильна камера виконана у формі циліндра. Ротор дробарки з кільцем зображено малюнку 1.9.

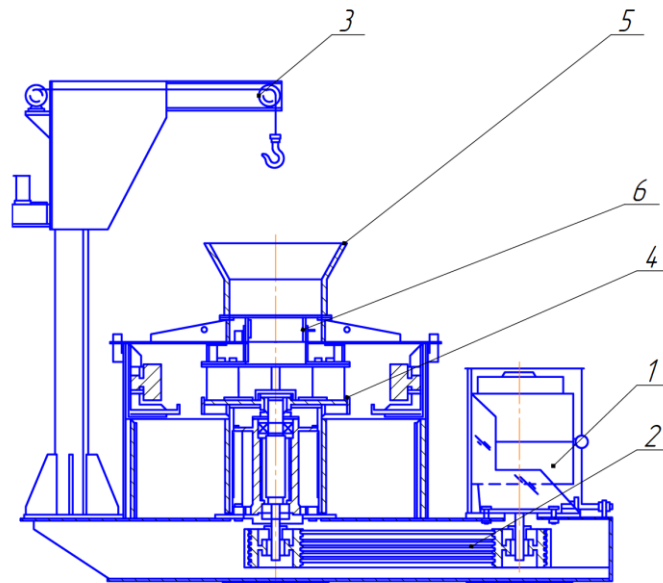


Рис 1.8. Дробарка вертикальна EP0261913: 1 – привід; 2 – клинопасова передача; 3 – механізм завантаження; 4 – дробильна камера; 5 – завантажувальний бункер; 6 – труба напрямна.

На кожному кронштейні 7 встановлений молоток 8. Молоток 8 складається з восьмикутної голови, квадратного кріплення 9. Кріплення і голова молотка симетричні щодо осі симетрії, що утворює кут $\alpha = 5 - 150$ з дотичної ротора 10. Під час роботи, матеріал, що підлягає дробленню безперервно подають у завантажувальний бункер 5 і далі через направляючу трубку 6 і центр ротора 10. Ротор 10 обертається зі швидкістю порядку близько 900 - 1800 оборотів в хвилину. Матеріал викидається назовні у радіальному напрямку, матеріал пришвидшується ротором і потрапляє до кишень 11.

Рухається подрібнений матеріал під кутом близько 5 - 150 по дотичній до ротора.

Відхилення від тангенціальної траєкторії, викликані нахилом матеріалу, що подрібнюється в кишені 11 і коефіцієнт тертя подрібнюваного матеріалу.

Подрібнений матеріал викидаються назовні у радіальному напрямку.

Кронштейни 7 встановлені в кільці 12 під таким кутом, при ударі об молоток 8 перпендикулярно подрібнюваного матеріалу траєкторія польоту подрібнених частинок, становить близько 100 до дотичної до ротора. Таким

чином, при ударі об молоток перпендикулярно по матеріалу, що подрібнюється, вся кінетична енергія молотка передається матеріалу, і лише мала частина підведеної енергії витрачаються на рикошет.

Недоліком розглянутої дробарки є те, що матеріал нерівномірно розподіляється по висоті дробильної камери, тому буде неоднорідність процесу подрібнення та знов робочих органів.

Okawa Koji в 1992 р. розробив дробарку з вертикальним валом, яка може бути використана для подрібнення зерна та інших сипучих продуктів (рисунки 1.10) [4]. Дробарка включає в себе вертикальний вал 1, встановлений в блоці підшипників живильника 3, розташованого у верхній центральній частині, і бункері 4.

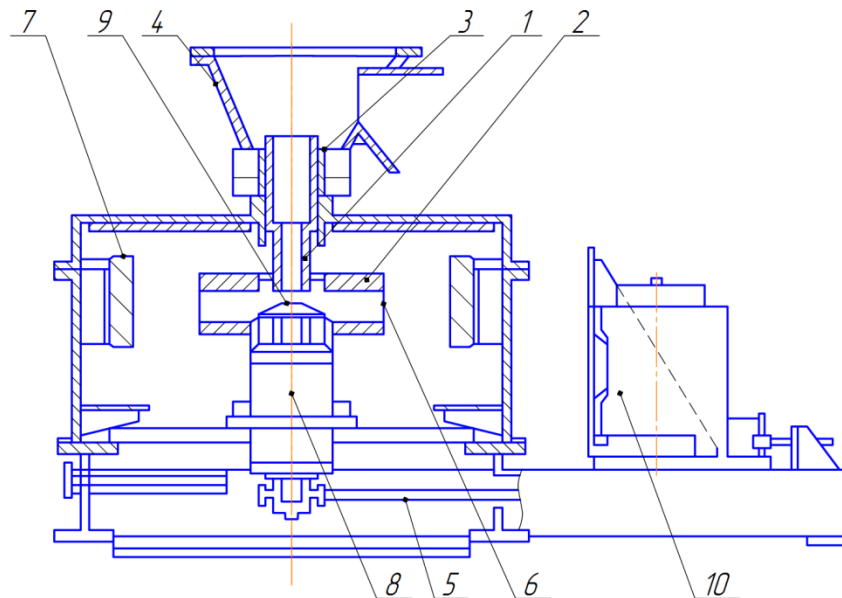


Рис. 1.10. Дробарка з вертикальним валом JP4110050: 1 – вал вертикальний; 2 – ротор; 3 – живильник; 4 – бункер; 5-передача ремінна; 6 – отвір розвантажувальний; 7 – молоток; 8 – блок підшипників; 9 - центральний розподільник; 10 – електродвигун.

На нижньому диску ротора 2, виконані три лопаті 11 (рис. 1.11), кути між якими рівні. Лопаті 11 встановлені на внутрішній поверхні стінок 12.

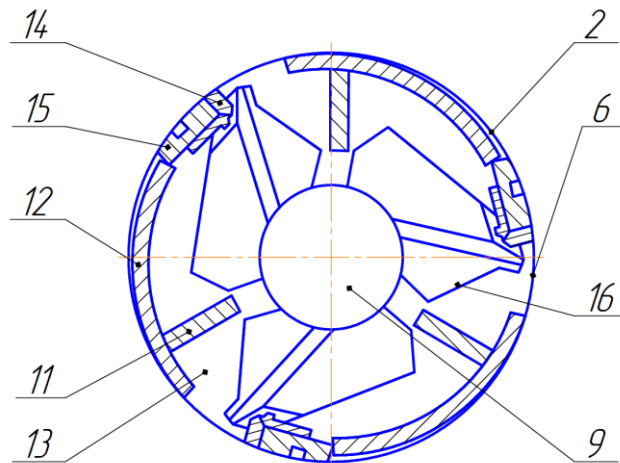


Рис. 1.11. Ротор: 1 – лопаті; 12 – стінка; 13 – диск; 14 - било; 15 – блок поворотний; 16 - напрямні.

Працює дробарка в такий спосіб. Ротор 2 обертається з високою частотою на вертикальному валу, подрібнюваний матеріал подається з бункера 4 через канал живильника 3 на ротор 2, потім, на центральний розподільник 9. За рахунок відцентрових сил матеріал притискається до внутрішньої стінки 12, лопаті 11 усувають прослизання матеріалу, додатково підвищують швидкість обертання подрібнюваного матеріалу та через вивантажувальні вікна матеріал попадає на молотки 7 (рисунок 1.10). За рахунок цього, виникають внутрішні напруги і відбувається руйнування (подрібнення) подрібнюваного матеріалу.

Недоліком розглянутої дробарки є можливе забивання внутрішньої частини ротора (між лопатями); необхідність високих швидкостей обертання ротора, щоб одержати гарантоване руйнування матеріалу. Звідси впливає висока енергоємність процесу подрібнення.

Висновки по розділу

В першому розділі магістерської роботи представлено аналіз існуючих технічних рішень подрібнення сільськогосподарської продукції, що дозволило сформулювати мету та завдання досліджень

РОЗДІЛ 2

ОБГРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНО-РЕЖИМНИХ ПАРАМЕТРІВ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ ДРОБАРКИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Загальний пристрій та принцип роботи запропонованої дробарки пророщеного зерна

Розглянувши різні конструкції дробарок можна відзначити, що для подрібнення неоднорідних матеріалів, одним з яких є пророщене зерно, потрібно використовувати різні види робочих органів, такі як молотки та ножі.

Існуючі конструкції молоткових дробарок мають такі недоліки як один тип робочих органів, дві дробильні камери, розташовані на певній відстані один від одного. Виникає необхідність транспортувати матеріал, що подрібнюється від однієї камери подрібнення в іншу, а це супроводжується додатковими витратами енергії. Для приводу робітників органів задіють два приводи, що ускладнює конструкцію, робить її більш металоемною та підвищує вартість.

Завдання представленої дробарки полягає у підвищенні однорідності кінцевих розмірів пророщеного зерна після подрібнення за рахунок використання різних робочих органів: молотків, розташованих на зовнішньому барабані та ножів, розташованих на внутрішньому барабані. Виключення додаткового транспортування матеріалу, що подрібнюється між барабанами, що подрібнюються.

Зниження енергоємності процесу подрібнення рахунок розміщення дробильних барабанів у одній камері однією осі.

Запропоновано установку для подрібнення пророщеного зерна [10, 11], що складається з рами, на якій розміщена комбінована дробильна камера, бункера для подрібнюваного матеріалу, нижче якого встановлено дозуючу заслінку. Бункер, дозуюча заслінка та труба закріплені з торцевої сторони комбінованої

дробильної камери. Усередині комбінованої дробильної камери (рисунок 2.1) змонтовано два види робочих органів: молотки та ножі.

Між молотками на пальцях встановлені розпірні втулки. Молотки встановлені шарнірно на зовнішньому барабані, а ножі шарнірно встановлені на внутрішньому барабані. Барабани виконані на одній осі. Подрібнювальні барабани мають два приводи. На внутрішній частині подрібнювальної камери виконані дека і решето.

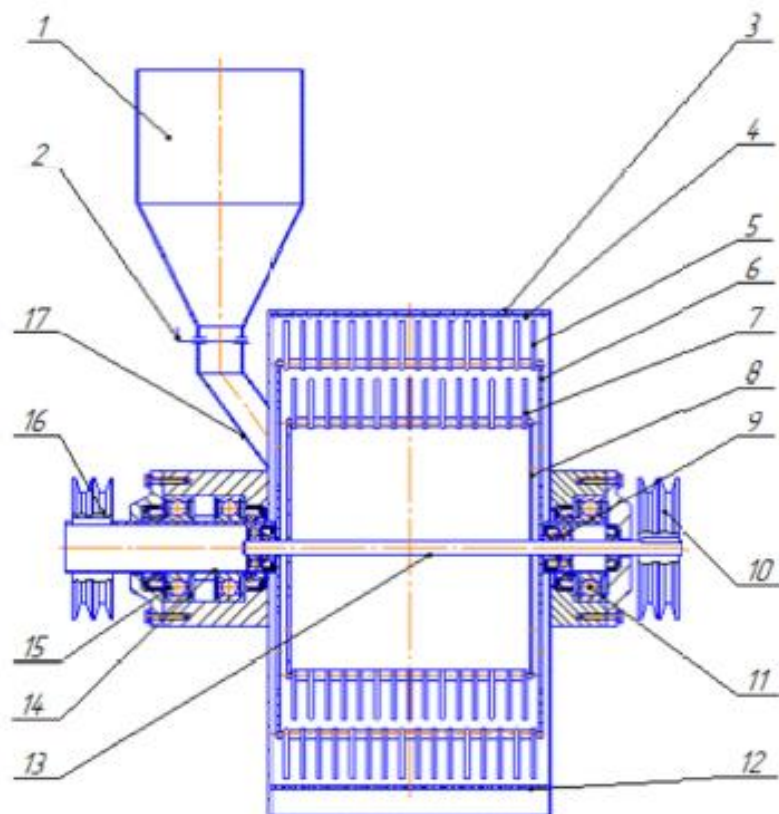


Рис. 2.1. Комбінована дробильна камера: 1 – бункер завантажувач; 2 – дозувальна заслінка; 3 – камера подрібнення комбінована; 4 – дека; 5 – молоток; 6 – зовнішній дробильний барабан; 7 – ніж; 8 – ножовий барабан; 9 – внутрішній підшипник; 10 – шків; 11 – зовнішній підшипник; 12 – решето; 13 – вал внутрішній; 14 – вал зовнішній; 15 – підшипник зовнішній; 16 – шків; 17 – подавальна труба.

Оберткові барабани направляють повітряний потік від центру до периферії комбінованої дробильної камери. Зернівки та паростки будуть рухатися від центру до периферії комбінованої дробильної камери і, послідовно, взаємодіяти

з двома типами робочих органів, спочатку з ножами, потім з молотками. Пророщене зерно потрапляє всередину, одразу підхоплюється робочими органами та масі повідомляється відцентрова сила. За рахунок різних фізико-механічних властивостей більш щільні зернівки виявляються далі від центру, а менш щільні паростки будуть ближче до центру. Тому зернівки взаємодіятимуть з молотками, встановленими на зовнішньому барабані, а паростки взаємодіятимуть з ножами, встановленими на внутрішньому барабані. Маса зерна буде взаємодіяти з молотками доти, доки не стануть менше діаметра отворів решета. Потім маса проходитиме через отвори решета і видалятиметься з дробильної камери. Потім місце зерна займатимуть подрібнені паростки, які під дією відцентрових сил проходитимуть через отвори решета.

Запропонована дробарка дозволяє підвищити однорідність подрібнюваної маси пророщеного зерна, а саме зерна і паростків за рахунок використання двох типів робочих органів: молотків та ножів, призначених для подрібнення зернівки та паростка. При цьому молотки встановлені на зовнішньому барабані, а ножі встановлені на внутрішньому барабані.

Зниження енергоємності процесу подрібнення рахунок розміщення дробильних барабанів однією осі.

Щоб виконати подрібнення пророщеного зерна, нами була сконструйована експериментальна дробарка [1].

2.2. Методика проведення експериментальних досліджень дробарки пророщеного зерна

Виконавши аналіз теоретичних та експериментальних робіт у галузі подрібнення зерна відзначимо, що важливо визначити фактори, що впливають на процес подрібнення та врахувати їх під час планування експерименту. Рационально підібрані найбільш значущі фактори та їх значення відображають весь технологічний процес за їх найменшої кількості.

З метою вибору області дослідження факторів необхідно провести їх аналіз. У кожного фактора визначити нульове значення, потім шляхом додаванням та відніманням одного і того ж числа (інтервал варіювання) від нульового значення встановити рівні відповідні - 1 та + 1.

Щоб оцінити вплив різних факторів на критерій оптимізації необхідно застосувати планування багатфакторного експерименту. При проведенні експерименту необхідно скористатися матрицею, в якій у кожному рядку, окремому досліді вказати рівень варіювання факторів.

Необхідно визначити критерій оптимізації, який має бути пов'язаний з факторами, що впливають на нього. Критерій оптимізації повинен мати можливість фізичного виміру.

Окремі незалежні фактори змінюватимемо згідно некомпозиційного плану другого порядку Бокса-Бенкіна.

При виконанні відсіваючи експериментів, встановили фактори, які переважно впливають на подрібнення пророщеного зерна. Щоб провести експеримент використовували стандартну матрицю планування. Фактори встановлені на трьох рівнях варіювання, тому експеримент має вигляд n^k , де n - число рівнів варіювання факторів, k - кількість факторів.

При проведенні експерименту модуль помелу враховували як критерій оптимізації.

Число робочих органів у подрібнювальній камері приймалися рівними: число молотків 72 шт.; кількість ножів 66 шт. Щільність, твердість пророщеного зерна, парусність, швидкість витання у всіх точках експерименту були постійними.

На модуль помелу пророщеного зерна в дробильному барабані впливають фактори, що записані в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Фактори, що впливають на модуль помелу пророщеного зерна дробильному барабані.

Найменування фактора	Рівні варіювання		
	-1	0	+1
Частота обертання дробильного барабана, n_D хв ⁻¹	2100	2600	3000
Товщина молотка, h_M м	0,001	0,002	0,003
Діаметр барабана, D_6 м	0,56	0,61	0,66

На модуль помелу пророщеного зерна в ножовому барабані впливають фактори, що записані в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Фактори, що впливають на модуль помелу у ножовому барабані

Найменування фактора	Рівні варіювання факторів		
	-1	0	+1
Кут загострення ножа γ_H град	10	20	30
Відстань між ножами, a мм	7	14	21
Частота обертання ножового барабана n_H хв ⁻¹	2100	2600	3000

Представлені в таблицях фактори відповідають таким умовам:

1. всі фактори керовані, тому під час проведення дослідів можна міняти їх значення;
2. фактори незалежні, тому з урахуванням матриці планування можна змінювати значення кожного чинника, незалежно від інших;
3. подані фактори впливають на критерій оптимізації.



Рис. 2.2. Дробильна камера експериментальної дробильної установки для пророщеного зерна 1 – завантажувальний бункер центральний; 2 – корпус камери дробильної; 3 – дека; 4 – вікно вивантажене.

На рис. 2.3 представлена дробарка пророщеного зерна.



Рис. 2.3. Дробарка пророщеного зерна: 1 – центральний бункер; 2 - бункер бічний; 3 – шафа управління; 4 – електродвигун; 5 – кожух захисний; 6 – камера дробильна; 7 – рама.

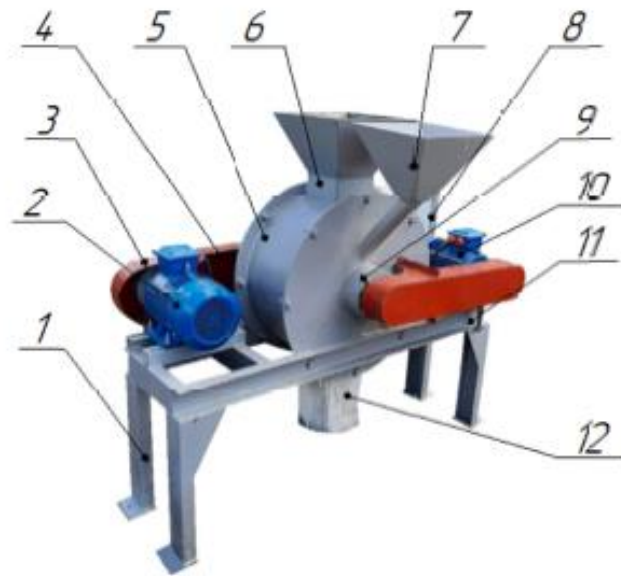


Рис. 2.4. Експериментальна дробарка пророщеного зерна: 1 – опора; 2 – електродвигун для приводу зовнішнього барабана; 3 – кожух захисний; 4 – передача ремінна; 5 – камера дробильна; 6 – центральний бункер; 7 – бункер бічний; 8 – шафа управління; 9 – вузол підшипниковий; 10 – електродвигун для приводу внутрішнього барабана; 11 – рама; 12 - рукав вивантажувальний.

На рис. 2.5 представлена дробарка із завантаженим пророщеним зерном.

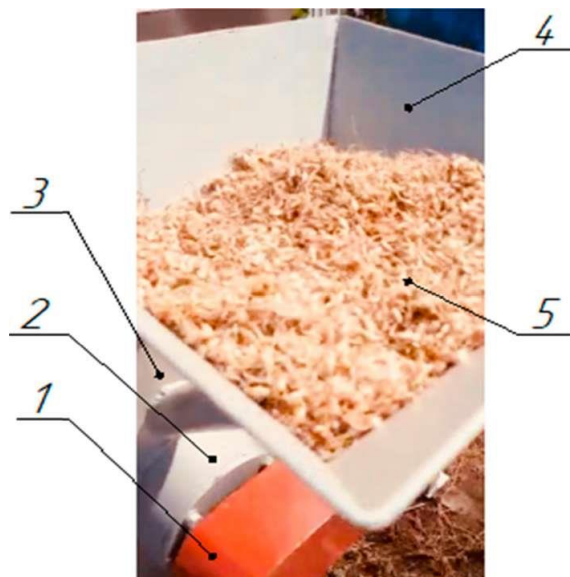


Рис. 2.5. Дробарка з пророщеним зерном: 1 – кожух захисний; 2 – корпус підшипника; 3 – камера дробильна; 4 – бункер бічний; 5 – зерно пророщене.

Щоб здійснювати управління технологічним процесом дробарки, застосували електричну схему, яка представлена на рис. 2.5.

Робота електричної схеми відбувається в такий спосіб. Живлення трифазного електричного ланцюга струмом можемо встановити візуально за допомогою світлового індикатора 1. Коли контакти вимикача 2 замикаються, відбувається подача електричної енергії на контактори. Ланцюг управління включаються за допомогою вимикача 3. В результаті струм надходить до кнопок включення 7, 8, для запуску електродвигунів 13 і 6. При включенні кнопки 7 електричний струм подають на котушку 9, контакти замикають контактора 15 і таким чином подають напругу на електродвигун 13, який здійснює обертання барабана із встановленими молотками у напрямку обертання годинникової стрілки.

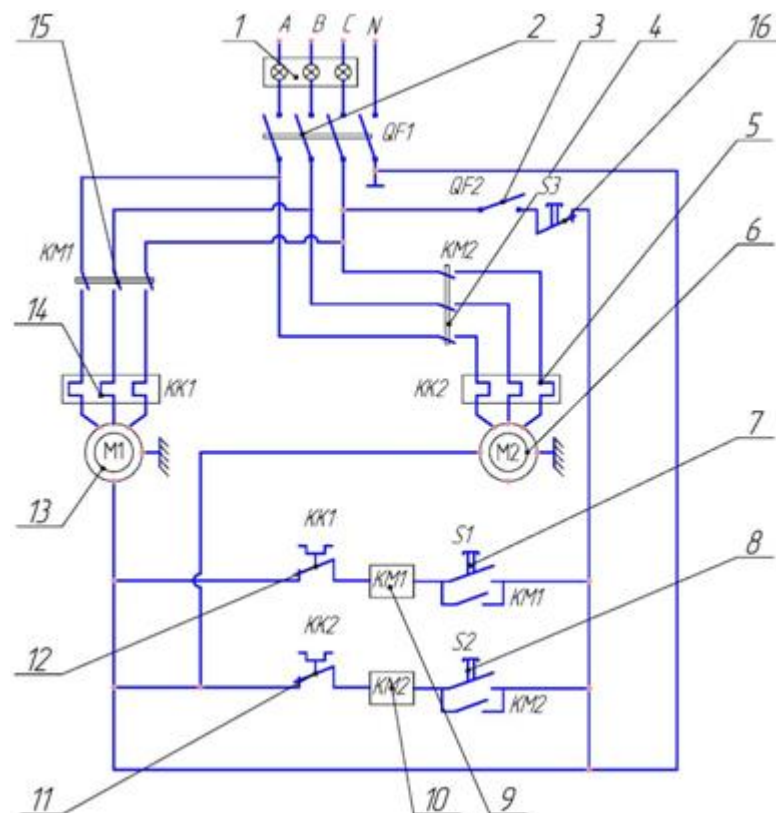


Рис. 2.6. Схема управління дробаркою пророщеного зерна: 1 – світловий індикатор; 2, 3 – пакетний вимикач; 4, 15 – контактор; 5, 14 – теплове реле; 6, 13 – електродвигун; 7, 8 – контакти; 9, 10 – котушка; 11, 12 – контакти; 16 – контакти.

З інтервалом 2, 3 хвилини включають кнопку 8 і таким чином подають струм на котушку 10, здійснюють замикання контактора 4 і подають напругу для запуску електродвигуна 6, який обертає ножовий барабан у напрямку обертання годинникової стрілки. Щоб виключити високе значення пускових струмів в електричній мережі, електродвигуни необхідно включати послідовно, спочатку один, а через 2, 3 хвилини інший. Через 2, 3 хвилини після включення другого електродвигуна, коли буде забезпечена його стійка робота, можна за допомогою заслінки, що дозує, подавати подрібнюваний матеріал в комбіновану дробильну камеру.

Після подрібнення маси отримали продукт, який можна було досліджувати згідно з цією методикою.

На рис. 2.7 представлено зерно подрібнене з використанням молотків.



Рис. 2.7. Пророщене зерно, подрібнене молотками.

З рисунку можемо відзначити, що після обробки молотками подрібнюються лише зернівки, а паростки залишаються практично незворушеними. Тому отримати добре перемішану кормову суміш із використанням такого пророщеного зерна не вдасться.

Подано процес руху подрібненого пророщеного зерна з дробильної камери в накопичувальну ємність. У дробильній камері працюють молотки та ножі.



Рис 2.8. Процес руху подрібненого пророщеного зерна з дробильної камери в накопичувальну ємність.



Рис. 2.9. Зрощене пророщене зерно, яке отримано з використанням молотків і ножів.

З рисунка можемо відзначити, що виконуючи подрібнення пророщеного зерна в комбінованій дробильній камері двома типами робочих органів, а саме молотками та ножами можемо подрібнювати зернівки та паростки, отримуючи близькі кінцеві розміри 1...1,4 мм.

Висновки по розділу

В другому розділі магістерської роботи представлено методику проведення експериментальних досліджень.

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ТА АНАЛІЗ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Результати експериментальних досліджень енергоємності процесу подрібнення пророщеного зерна

Вимірювання параметрів визначальних енергоємність процесу подрібнення проводилося відповідно до методики викладеної.

Вимірювання сили струму з допомогою струмовимірювальних кліщів представлено рис. 3.1.



Рис 3.1. Вимірювання сили струму

Величина сили струму в одній фазі, трифазної мережі на електродвигуні, який приводить в роботу ножовий барабан без навантаження за результатами вимірювань становила 4,9 А. Лінійна напруга в мережі становила 380 В. Енергійну потужність, що споживається з мережі, обчислювали за формулою. При $\cos \varphi = 0,8$ вона становила 2,58 кВт.

Величина сили струму в одній фазі трифазної мережі на електродвигуні, який приводить в роботу молотковий барабан без навантаження за результатами вимірювань становила 5,1 А. Лінійна напруга в мережі становила 380 В.

Розрахункова споживана з мережі активна потужність при $\cos \varphi = 0,8$ становила 2,685 кВт.

Сила струму в одній фазі трифазної мережі на електродвигуні, який приводить в роботу ножовий барабан в режимі робочого навантаження становила 7,3 А, розрахункова споживана з мережі активна потужність при лінійній напрузі 380 В склала 3,844 кВт. Сила струму в одній фазі трифазної мережі на електродвигуні, який приводить в роботу молотковий барабан становив 7,5 А, розрахункова споживана з мережі активна потужність при лінійній напрузі 380 В і при $\cos \varphi = 0,8$ склала 3,949 кВт.

Загальна енергоємність процесу подрібнення пророщеного зерна, у тому числі паростків та зернівки, розрахована за виразами, склала від 6,7 до 8,3 кВт год/т.

Енергоємність запропонованого подрібнювача оцінюють з урахуванням отриманого ступеня подрібнення паростків та зернівки пророщеного зерна та відсоткового вмісту паростків та зернівки у загальній масі [3].

На рис. 3.2 наведено розраховану залежність енергоємності процесу подрібнення від ступеня подрібнення.

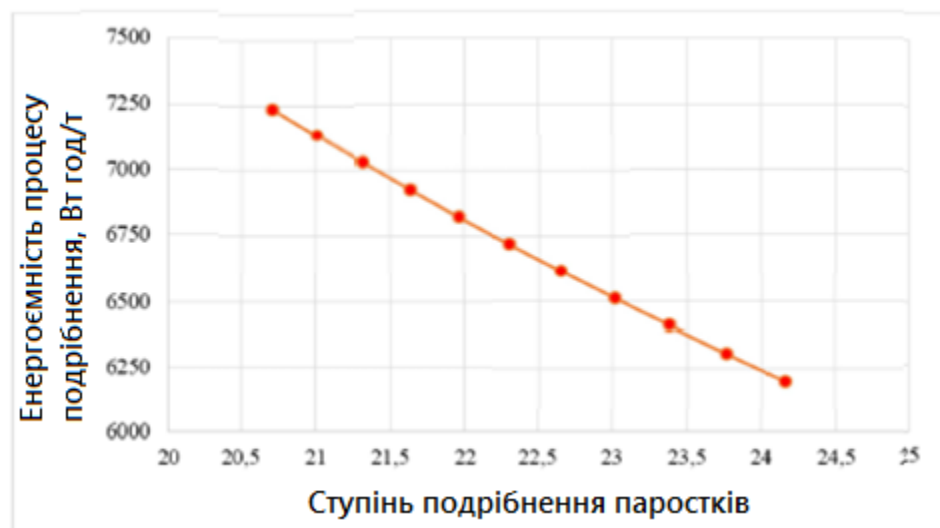


Рис. 3.2. Залежність енергоємності процесу подрібнення від ступеня подрібнення

Відповідно до наведеної рис 3.2 залежності енергоємність процесу подрібнення зменшиться з 7,23 до 6,2 кВт год/т за умови підтримки продуктивності дробарки 0,52 т/год і збільшення ступеня подрібнення продукту з 20,71 до 24,17. Це пояснюється тим, що процес подрібнення можна уявити, як поділ тіла на частини з отриманням нових частинок з більшою площею поверхні. Тому із збільшенням площі утвореної поверхні зменшується енергоємність процесу подрібнення.

3.2 Результати експериментальних досліджень оцінки розміру подрібнених частинок

Кінцевий розмір пророщеного зерна обумовлений зоотехнічними вимогами до кормів для певної групи тварин.

За даними літературних джерел годування свиней, розмір часток подрібненого продукту може бути 0,9...1,4 мм [4]. Експериментальні дослідження з визначення частинок необхідних розмірів, а також недоподрібнених і переподрібнених частинок розробленої дробарки з обґрунтованими конструктивно-режимними параметрами показано на рис. 3.3.

Якість подрібнення пророщеного зерна на дробарці оцінювали відповідно до методики викладеної вище. Пророщену висушену пшеницю та ячмінь подрібнювали окремо. Відбір проб частинок пророщеного зерна проводився після проходження пророщеним зерном послідовно два ступені подрібнення - барабан з молотками та ножовий барабан.

На рис. 3.3 представлений середній розмір частинок подрібненого пророщеного зерна ячменю та пшениці.

При подрібненні пророщеного висушеного ячменю пропускну здатність у дробарки зареєстрували на позначці 515 кг/год. Аналізуючи якісні показники роботи відзначимо, що недоподрібнена фракція склала 3,3%, подрібнена фракція 1,8%, необхідна фракція 49%.

При подрібненні пророщеної висушеної пшениці пропускну здатність у дробарки зареєстрували на позначці 522 кг/год. Аналізуючи якісні показники роботи, відзначимо, що неподрібнена фракція склала 3,35%, подрібнена фракція 1,4%, необхідна фракція 93,61%, втрати вийшли близько 1,64%.



Рис. 3.3. Середній розмір частинок подрібненого пророщеного зерна

Щоб оцінити якість процесу подрібнення пророщеного зерна застосовували розсівання на решітках якого розподілилися частки.

Розміри частинок пророщеного подрібненого зерна ячменю та пшениці представлені у таблицях 3.1, 3.2 відповідно.

Таблиця 3.1 – Розмір частинок пророщеного подрібненого зерна ячменю

Діаметр отвору решета, мм	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
Відсотковий вміст частинок	3,21	47,21	45,10	1,41	1,91

Розподіл фракційного складу частинок подрібненого пророщеного зерна ячменю по решетах представлено рис. 3.4.

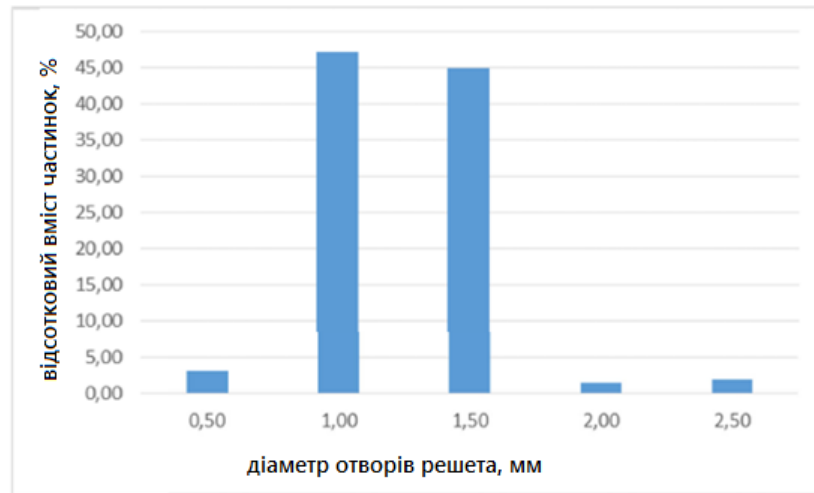


Рис. 3.4. Розподіл фракційного складу частинок подрібненого пророщеного зерна ячменю по решетах

Таблиця 3.2 Розмір частинок пророщеного подрібненого зерна пшениці

Діаметр отвору решета , мм	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
Відсотковий вміст частинок	2,91	44,21	47,41	1,51	1,86

Розподіл фракційного складу частинок подрібненого пророщеного зерна пшениці по решетах представлений рис 3.5.

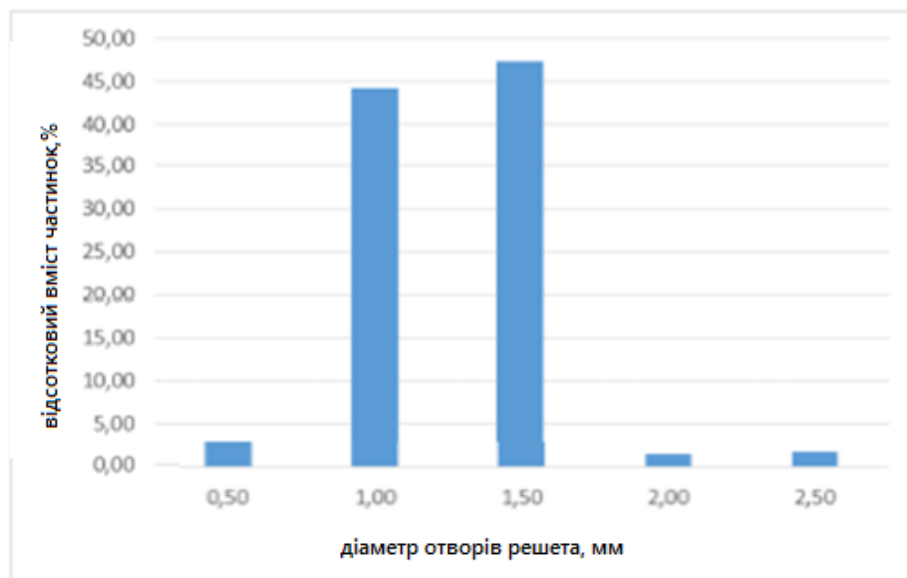


Рис. 3.5. Розподіл фракційного складу частинок подрібненого пророщеного зерна пшениці за ґратами

3.3 Результати багатофакторного експерименту щодо впливу конструктивних та технологічних параметрів на енергоємність процесу подрібнення та продуктивність дробарки

Дослідження щодо впливу конструктивних та технологічних параметрів на показники роботи дробарки проводилися з використанням методів планування експерименту та методики викладеної вище. Оцінювався вплив конструктивних та технологічних параметрів на такі показники, як енергоємність процесу та продуктивність дробильної установки.

Поверхня відгуку енергоємності подрібнення пророщеного зерна від кута заточування ножа та модуля помелу та її двомірні перерізи зображені на рис. 3.6

Аналізуючи поверхню відгуку малюнку 3.6 відзначимо, що після подрібнення ножами енергоємність подрібнення становила 5 - 6,5 кВт год/т при модулі помелу 1 - 1,25 мм і куті заточування ножа 10 - 24 град. Зазначимо, що на енергоємність суттєво впливають модуль помелу та кут заточування ножа. Цей результат побічно узгоджується з теоретичними результатами, наведеними вище при розрахунку фізичного критерію оптимальності на подрібнення.

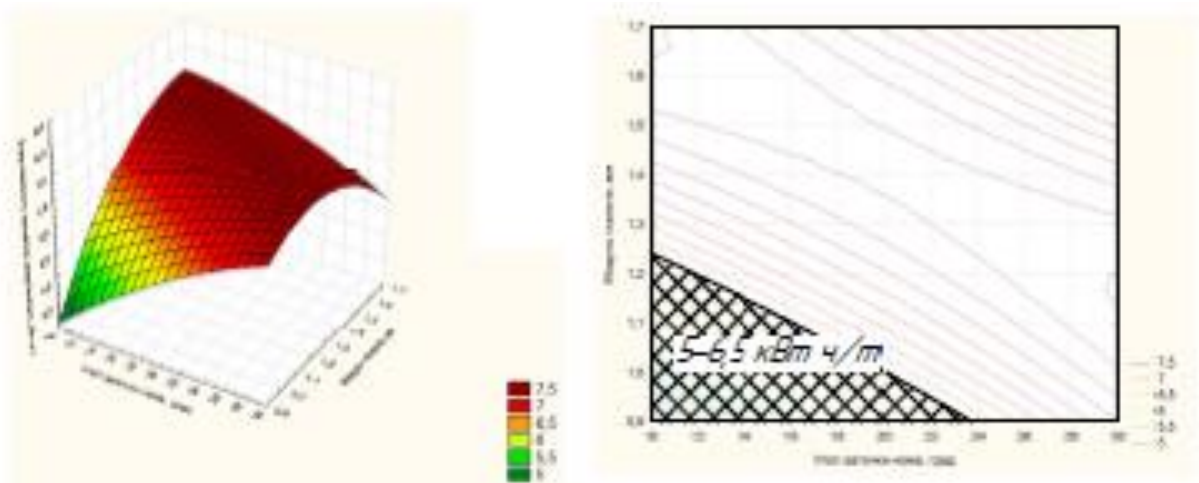


Рис. 3.6. Поверхня відгуку енергоємності подрібнення пророщеного зерна від кута заточування ножа та модуля помелу та її двомірні перерізи

Поверхня відгуку енергоємності подрібнення пророщеного зерна від кута заточування ножа та частоти обертання ножового барабана, та її двомірні перерізи зображені на рис. 3.7

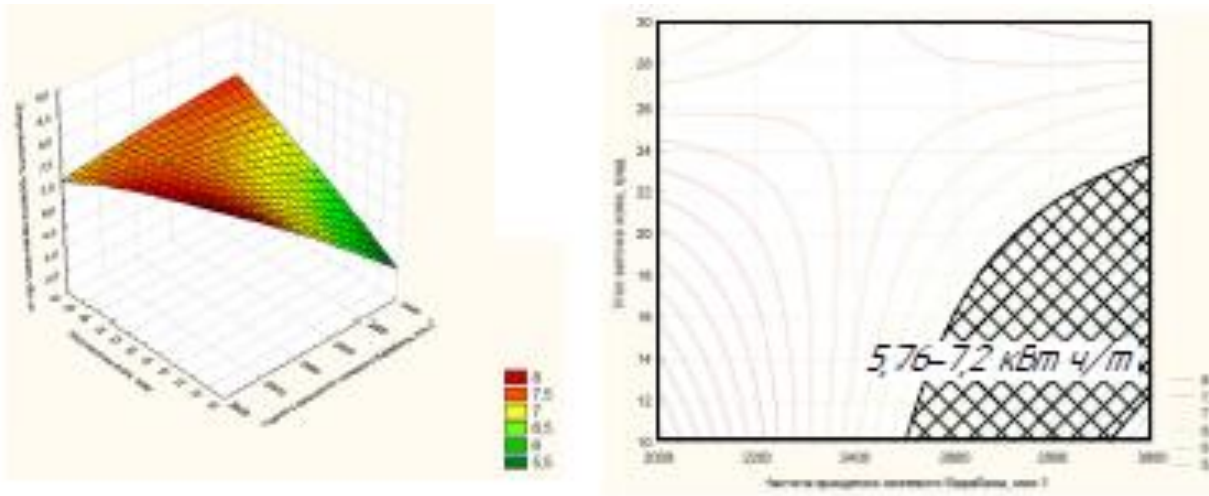


Рис. 3.7. Поверхня відгуку енергоємності подрібнення пророщеного зерна від кута заточування ножа та частоти обертання ножового барабана, та її двомірні перерізи

Проаналізувавши поверхню відгуку рис. 3.7 виявлено такий взаємозв'язок, що мінімальне значення енергоємності становить 5,76...7,2 кВт×год/т при частоті обертання ножового барабана 2520 - 2960 хв^{-1} і куті заточування ножа 14 - 220. При цьому область оптимальних значень двомірному перерізі підтверджує взаємний вплив на енергоємність процесу обох факторів. У діапазоні частоти обертання 2200 - 2600 хв^{-1} вплив кута заточування ножа практично незначний. Цей результат також побічно узгоджується з теоретичними результатами, наведеними в розділі 2 при розрахунку фізичного критерію оптимальності на подрібнення.

На рис. 3.8 представлена поверхня відгуку енергоємності подрібнення пророщеного зерна від процентного вмісту паростків та ступеня подрібнення паростків, та її двомірні перерізи.

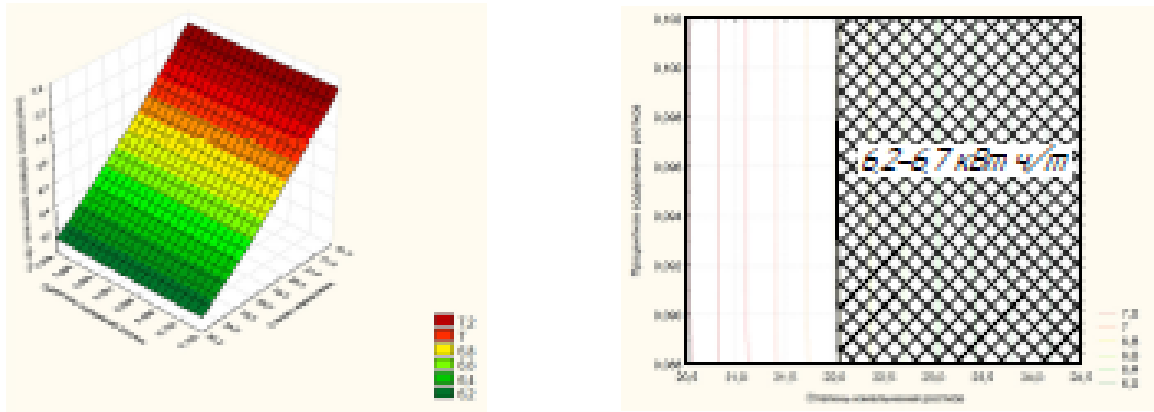


Рис. 3.8. Поверхня відгуку енергоємності подрібнення пророщеного зерна від процентного вмісту паростків та ступеня подрібнення паростків, та її двомірні перерізи

Проаналізувавши поверхню відгуку рис. 3.8 виявлено такий взаємозв'язок, що зі збільшенням ступеня подрібнення паростків пророщеного зерна з 22 до 24 одиниць енергоємність процесу подрібнення знижується з 6,8 до 6,2 кВт год/т. Зміст паростків від усієї маси пророщеного зерна в діапазоні 0,088...0,1 на енергоємність процесу практично не впливає.

На рис. 3.8 зображено поверхню відгуку продуктивності дробильної установки від частоти обертання дробильного та ножового барабанів, та її двовимірні перерізи.

З рисунку можемо відзначити, взаємний вплив частот обертання ножового та дробильного барабанів на загальну продуктивність дробарки. Найбільша продуктивність дробильної установки буде в діапазоні 0,52...0,54 т/год, якщо забезпечити частоту обертання дробильного барабана 2200... 2600 хв⁻¹, а частоту обертання ножового барабана 2600...2850 хв⁻¹.

Велику частоту обертання барабанів конструктивно одержати складно. Також необхідно враховувати те, що барабани мають загальну вісь обертання.

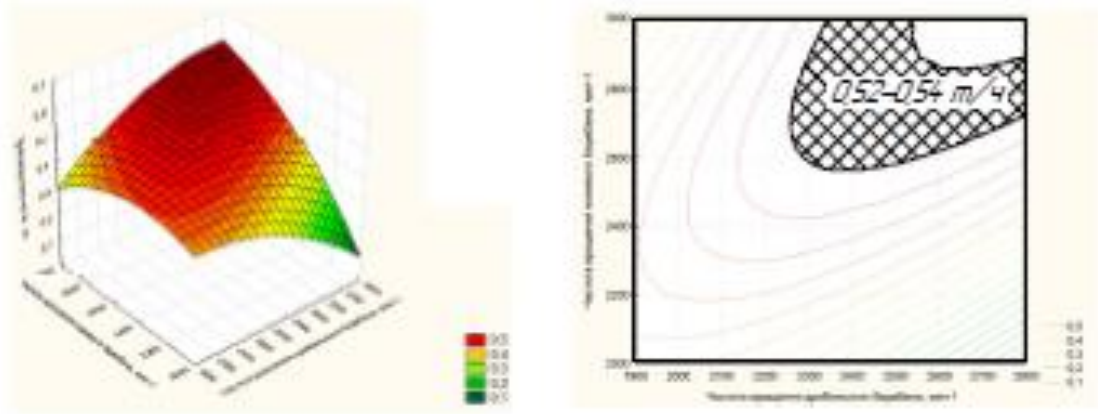


Рис. 3.9. Поверхня відгуку продуктивності дробильної установки від частоти обертання дробильного та ножового барабанів, та її двомірні перерізи.

Висновки по розділу

В результаті експериментальних досліджень з оцінки енергоємності процесу подрібнення встановлено: при подрібненні ножами енергоємність склала 5,76 – 7,2 кВт год/т при модулі помелу 1 – 1,25 мм та куті заточування ножа 12 - 22 град. і за частоті обертання ножового барабана 2520...2960 хв⁻¹. Встановлено, що при продуктивності дробарки 0,52 т/год та зменшенні ступеня подрібнення паростків з 24,17 до 20,71 одиниць енергоємність подрібнення зростає з 6,2 до 7,23 кВт/год. Загальна енергоємність процесу подрібнення пророщеного зерна, у тому числі паростків та зернівки, зміниться з 8 до 9,35 кВт год/т.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

На підставі аналізу існуючих конструкцій дробарок зазначені їх недоліки, які не дозволяють подрібнити зернівки та паростки пророщеного зерна, що мають різні початкові розміри, до величин, яка відповідає технології приготування комбікормів. Для подрібнення пророщеного зерна рекомендується використовувати дробарку з двома видами робочих органів, які забезпечуватимуть дроблення зернівки та різання паростків. Визначено напрямок розробки дробарки пророщеного зерна, обґрунтовано його конструктивно-технологічну схему.

В результаті експериментальних досліджень процесу подрібнення пророщеного зерна за розробленими методиками встановлено, що застосування в одній камері молотків і ножів дозволяє отримати при подрібненні зерна пророщеного матеріал, середні розміри якого становлять 1,1...1,3 мм.

В результаті експериментальних досліджень з оцінки енергоємності процесу подрібнення встановлено: при подрібненні ножами енергоємність склала 5,76...7,2 кВт год/т при модулі помелу 1...1,25 мм та куті заточування ножа 12...22 град. і за частоті обертання ножового барабана 2520 - 2960 хв⁻¹. Встановлено, що при продуктивності дробарки 0,52 т/год та зменшенні ступеня подрібнення паростків з 24,17 до 20,71 одиниць енергоємність подрібнення зростає з 6,2 до 7,23 кВт/год. Загальна енергоємність процесу подрібнення пророщеного зерна, у тому числі паростків та зернівки, зміниться з 8 до 9,35 кВт год/т.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛА

1. Савченко В. М., Фесенко К.Р. Методика проведення експериментальних досліджень дробарки пророщеного зерна. Наукові читання—2022: матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та енергетики. 7 червня 2022 р. Житомир: Поліський національний університет, 2022. С. 42-44.
2. Савченко В. М., Фесенко К.Р. Класифікація способів подрібнення зерна. *Збірник тез доповідей XXIII Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки"* (16–18 жовтня 2022 року). МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України, Житомирський агротехнічний фаховий коледж. Київ. Житомир. 2022. С. 339-242.
3. Фесенко К.Р. Класифікація способів та технічних засобів для подрібнення зерна. *Збірник тез VII Всеукраїнської науково-практичної конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь»* 31 березня 2021 року, м. Житомир. С. 277.
4. Абрамов А. А. Измельчитель зерна скальвающего типа. *Хлебопродукты*. 2006. № 10. С. 16-18.
5. Перетягин, Е.Н. Обоснование параметров измельчителя зерна режущего типа. *Пермский аграрный вестник*. 2018. №2 (22), С.9-15.
6. Труфанов, В.В. Исследование влияния конструктивных и технологических параметров на процесс измельчения в измельчителе ударно-центробежного типа. *Вестник Мичуринского филиала Российского университета кооперации: научно-производственный журнал*. 2011. - С.62-67.
7. Богомоллов О.В., Ірклієнко В.І., Богомоллова В.П., Універсальний малогабаритний комплекс для виробництва борошна та крупи. Вісник

Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. 2004. Вип. 28. С. 5-14.

8. Ірклієнко В.І. Оптимізація параметрів процесу сколювання зерна пшениці в дисковому здрібнювачі. *Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. № 21, 2020 р. с. 235-242*

9. Беркутова Н. С., Швецова И. А. Микроструктура пшеницы. Москва : Колос, 1977. 122 с.

10. Брюховецкий А.Н., Чурсин В.Ю. Факторы, влияющие на энергоёмкость процесса измельчения кормов в измельчителе роторного типа ирт-ф-25/40 "фермер" с применением универсального рабочего органа . В сборнике: *Современные научно-практические решения XXI века Материалы международной научно-практической конференции. 2016. С. 246-251.*

11. Верещинский А.П. Крупообразование при размоле шелушеного зерна. *Хлебопродукты. № 6 2013. с. 17-19*

12. . Ірклієнко В.І., Лазуренко М.Є., Наступень Т.В. Виробництво крупи нового виду. *Матеріали XV-го міжнародного форуму молоді "Молодь і сільськогосподарська техніка у 21 сторіччі". Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка. 4-5 квітня 2019р. Харків. С.41*

13. Ольшанський В.П., Богомолів О.В., Ірклієнко В.І. Новіков С.С., Кухаренко М.Д., Зуєв Д.С., Шаренко А.Д., Богомолів О.О. Про гістерезис в моделі квазістатичного удару твердих тіл. *Матеріали XX Міжнародної науково – практичної конференції. «Сучасні напрямки технології та процесів переробних і харчових виробництв" Навчально-наукового інституту переробних і харчових виробництв. 8 листопада Харків 2019.*

14. Фролов Е.А., Богомоліва В.П., Ірклієнко В.І. Підвищення ефективності функціонування малих господарств агропромислового комплексу. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. 2002. Випуск 9. С. 68-75.*

15. Моргун В.О. Підвищення виходу обдирної муки з метою раціонального використання зерна. *Наукові праці ОНАХТ*. Вип. 30. Т.2. Одеса: ОНАХТ, 2007. С. 27-29.

16. Бойчук А. Ф. Біологічні та агроекологічні основи підвищення продуктивності сільськогосподарських культур. *Біологічні науки і проблеми рослинництва: Зб. наук. пр. УДАУ*. Умань. 2003. С. 5–14.

17. Шкондин В.Н. Дисковый измельчитель кормового зерна. *Техника и оборудование для села*. 2014. № 10(208). С. 9–11.