

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

УДК 631.363.2

Кваліфікаційна робота на правах рукопису

ПАКЛЯЧЕНКО Давид Юрійович

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**УДОСКОНАЛЕННЯ ПОДРІБНЮВАЧА КОНЦЕНТРОВАНИХ КОРМІВ
ЛІНІЇ ПРИГОТУВАННЯ КОМБІКОРМУ**

208 «Агроінженерія»

Подається на здобуття освітнього ступеня бакалавр

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

(підпис)

(ініціали та прізвище здобувача вищої освіти)

Керівник роботи
к.т.н., доцент О. В. Медведський

Житомир – 2025

АНОТАЦІЯ

Пакляченко Д. Ю. **Удосконалення подрібнювача концентрованих кормів лінії приготування комбікорму.** – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота подається на здобуття першого освітнього ступеня бакалавр зі спеціальності 208 – агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2025 р.

Кваліфікаційна робота вирішує питання покращення технічних засобів подрібнення концентрованих корму. Виконано порівняльна систематизована оцінка конструкційно-технологічних схем дробарок, визначено недоліки та позитивні сторони, встановлено напрямок вдосконалення.

Запропонована конструкційна схема удосконаленої дробарки концкорму з вертикальним розміщенням осі робочого ротора із молотками, вертикальним завантаженням сировини та гравітаційним вивантаженням готового продукту.

Розраховано конструкційні параметри удосконаленої дробарки, виконані технологічні розрахунки, встановлено економічну ефективність впровадження удосконаленої машини.

Ключові слова: ротор, ступінь подрібнення, вертикальна схема

ANNOTATION

Paklyachenko D. Yu. **Improvement of the concentrated feed grinder of the compound feed preparation line.** – Qualification work in the form of a manuscript.

The qualification work is submitted for the first degree of bachelor in specialty 208 – agricultural engineering. – Polissia National University, Zhytomyr, 2025.

The qualification work solves the issue of improving the technical means of grinding concentrated feed. A comparative systematic assessment of the structural and technological schemes of crushers has been carried out, shortcomings and positive aspects have been identified, and the direction of improvement has been established.

A structural scheme of an improved end-of-life crusher with a vertical arrangement of the axis of the working rotor with hammers, vertical loading of raw materials and gravitational unloading of the finished product has been proposed.

The structural parameters of the improved crusher have been calculated, technological calculations have been performed, and the economic efficiency of the implementation of the improved machine has been established.

Keywords: rotor, degree of grinding, vertical scheme

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. ВИМОГИ ДО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ПОДРІБНЕННЯ КОНЦЕНТРОВАНОГО КОРМУ	7
1.1. Оцінка технологічних схем обладнання для подрібнення концкорму	7
1.2. Аналіз конструкційно-технологічних рішень дробарок концентрованих кормів	10
Висновки до розділу 1	17
РОЗДІЛ 2. УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ПОДРІБНЮВАЧА ДЛЯ КОЦЕНТРОВАНОГО КОРМУ	18
2.1. Встановлення шляхів удосконалення та створення схеми конструкції удосконаленого подрібнювача	18
2.2. Розрахунок технологічних показників та конструкційно-геометричних параметрів удосконаленого подрібнювача	20
2.3. Розрахунок енергетичних показників удосконаленої дробарки, встановлення відповідності умовам міцності елементів конструкції	23
Висновки до розділу 2	27
РОЗДІЛ 3. ЕКОНОМІЧНА ТА ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ УДОСКОНАЛЕНОЇ ДРОБАРКИ КОНЦКОРМІВ	28
3.1. Оцінка показників ефективності удосконаленого подрібнювача концентрованих кормів	28
Висновки до розділу 3	30
ВИСНОВКИ	31
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	32
ДОДАТКИ	34

ВСТУП

Актуальність теми. Подрібнення концентрованих кормів вважається важливим технологічним процесом не тільки для комбікормового виробництва, а і для всієї галузі тваринництва, особливо невеликих господарств. За умови наявності власного подрібнюючого обладнання невеликі фермерські господарства зможуть використовувати корми власного виробництва. Це дозволить суттєво здешевити собівартість кінцевого продукту галузі тваринництва та птахівництва, оскільки кормова сировина власного виробництва значно дешевша від переробленої промисловим чином сировини.

Для задоволення власного комбікормового виробництва фермерськими господарствами та тваринницькими підприємствами промисловість пропонує комбікормові лінії. До складу таких ліній входять декілька машин та обладнання поєднаних спільним технологічним процесом. Це, в першу чергу дробарка компонентів концентратів, система дозування, транспортування та змішування із дозованим а самопливним вивантаження. Дробарка вважається основною складовою для модульної лінії виробництва комбікорму, оскільки від якості подрібнення залежить якість отримання кінцевого продукту. Так, відомо, що розмір компонентів складових суттєво впливає на рівномірність змішування, що є запорукою потрапляння необхідних поживних елементів до організму тварини чи птиці.

Дробарка концентрованого корму як самостійна технічна система представлена на ринку багатьма виробниками промислового обладнання. Широка номенклатура не тільки типорозмірних характеристик а й особливостей реалізації технологічного процесу вказує на постійний пошук кращого рішення конструкційного виконання дробарки концентрованого корму. Не завжди кращі рішення для одного конструкційного виконання можуть бути ефективними для інших конструкційних схем.

Тому, пошук технічних рішень покращення технологічних параметрів подрібнювачів концентрованих кормів вважається актуальним завданням та вимагає свого вирішення.

Мета та завдання роботи кваліфікаційної.

Мета кваліфікаційної полягає у підвищенні ефективності дробарки концентрованих кормів шляхом удосконалення конструкції подрібнюючого механізму.

Завдання для досягнення мети роботи:

- виконати оцінку технологічних схем та технічних рішень подрібнювачів концентрованих кормів;
- виділити позитивні ознаки серійного обладнання та намітити шляхи удосконалення;
- розробити удосконалену конструкційно-технологічну схему подрібнювача концентрованого корму;
- виконати розрахунки технологічних показників та конструкційних параметрів удосконаленого подрібнювача;
- визначити енергетичну та економічну ефективність впровадження конструкційних рішень удосконаленого подрібнювача концентрованого корму.

Об'єкт досліджень – подрібнювач концентрованого корму із вертикальною віссю обертання молоткового ротора.

Предмет досліджень – технологічні показники та конструкційно-геометричні параметри подрібнювача концентрованого корму із вертикальною віссю обертання молоткового ротора.

Методи досліджень. Вирішити поставлені у роботі кваліфікаційній завдання можна при використанні діючих положень теорії машин та механізмів, опору матеріалів, механіки сільськогосподарських матеріалів, використання методів аналітичного обчислення та елементів моделювання фізичних процесів у камері подрібнення. Складні розрахунки виконувались з використанням програмних продуктів оболонки Microsoft.

Апробація результатів роботи.

У кваліфікаційній роботі отримані результати які були оприлюдненні на науково-практичних конференціях та знайшли відображення у наступних друкованих наукових працях:

1. Пакляченко Д. Ю. Оцінка способів подрібнення концентрованих кормів. *Студентські читання–2024* : матеріали науково-практичної конференції. 31 жовтня 2024 р. Житомир: Поліський національний університет, 2024. Ч. 2. С. 10–12.

2. Пакляченко Д. Ю. Розробка конструкції удосконаленої дробарки концентрованих кормів. *Наукові читання – 2025* : збірник тез доповідей науково-практичної конференції за підсумками I-го туру Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт з галузей знань і спеціальностей. 23 квітня 2025 р. Житомир: Поліський національний університет, 2025. С. 5–6.

Структура та обсяг роботи. До складу кваліфікаційної роботи входить вступ, теоретична частина із трьох розділів, висновки узагальнені, список використаних літературних джерел, додатки. Робота надрукована державною мовою з використанням комп'ютерної техніки загальним обсягом 33 сторінок основної частини, містить 10 рисунків та 4 таблиці.

РОЗДІЛ 1

ВИМОГИ ДО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ПОДРІБНЕННЯ КОНЦЕНТРОВАНОГО КОРМУ

1.1. Оцінка технологічних схем обладнання для подрібнення концкорму

Подрібнення концентрованого корму має задовольняти вимоги до крупності часточок. Так, дослідями встановлено, що розмір часточок подрібненого концентрованого корму які використовуються у системі приготування кормів суттєво впливає на якість перемішування компонентів у змішувачі (рис. 1.1). [1]

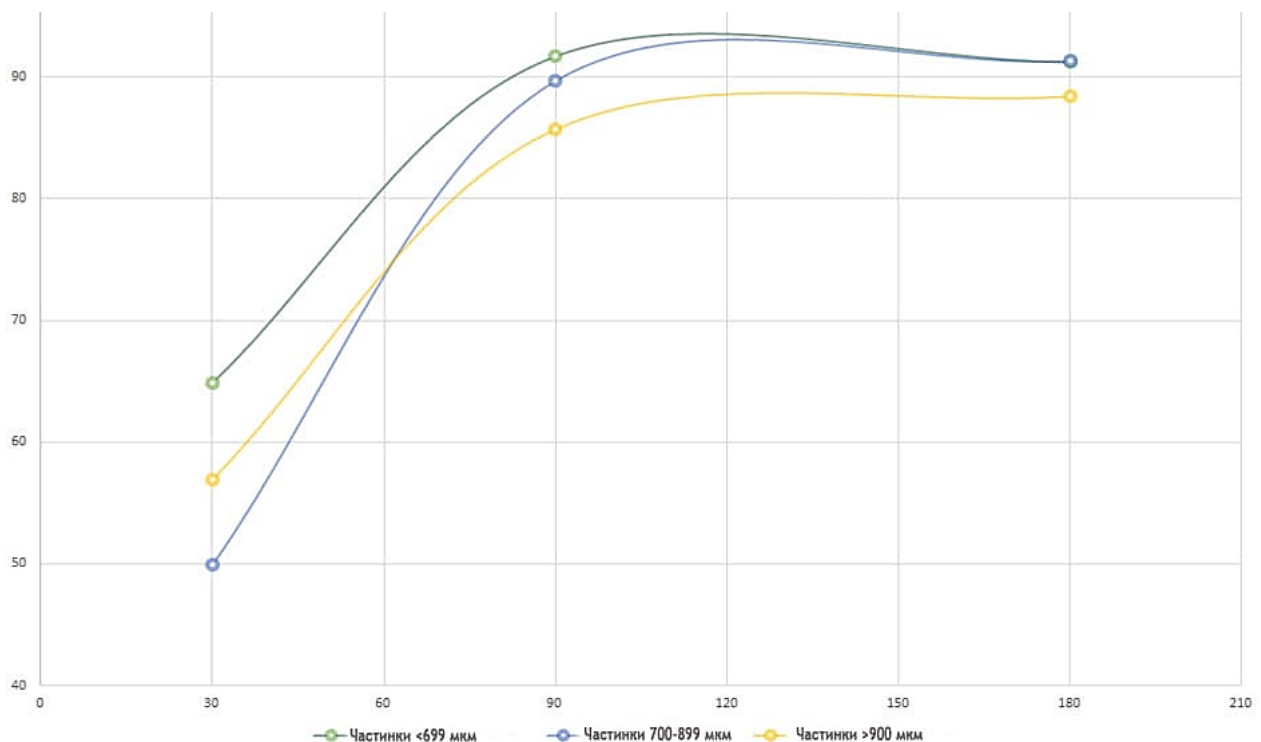


Рис. 1.1. Залежність впливу розміру часточок концентрованого корму та тривалості перемішування на якість отриманої сумішки

Відповідно до рис. 1.1 часточки концкорму розміром до 699 мкм сприяють отриманню сумішки для комбікормів найвищої якості (максимальна однорідність 93%) для всього діапазону тривалості перемішування. Для часточок розмір яких

становить від 700 до 899 мкм якість отриманої суміші за однорідністю 92 % можна отримати при тривалості процесу перемішування більше 120 с. При використанні подрібненого концентрованого корму із розміром часток більшим за 900 мкм отримати якісний комбікорм за однорідністю суміші неможливо (максимальна однорідність 87%) скільки б багато часу не використовувалось для перемішування.

Для подрібнення концентрованого корму використовують різноманітні конструкційні схеми (рис. 1.2). [2, 3, 4]

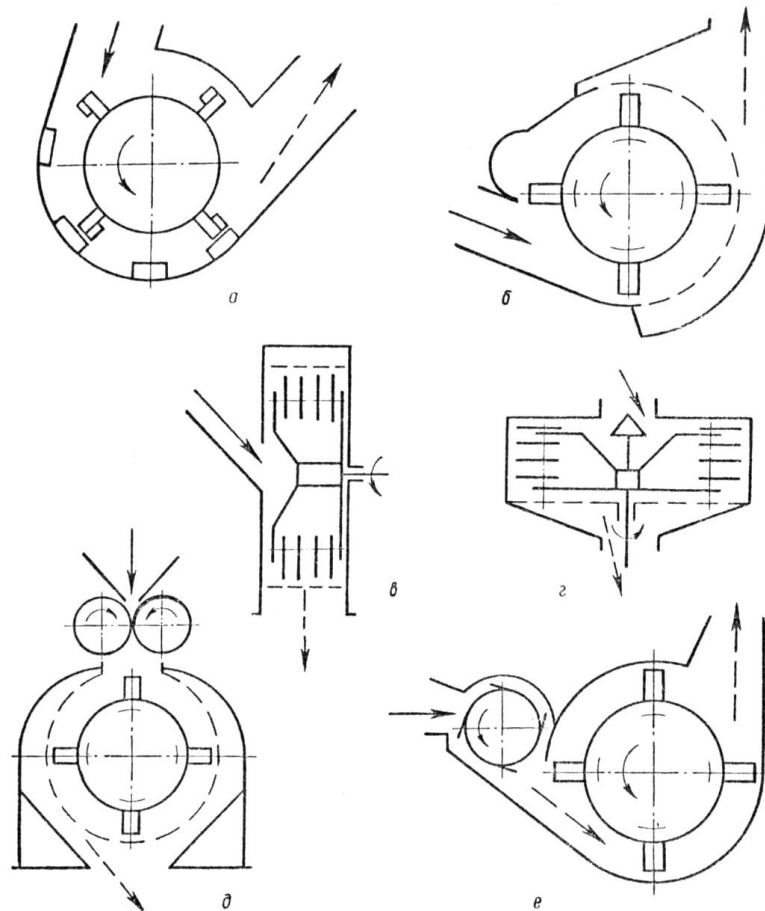


Рис. 1.2. Структурно-функціональні схеми подрібнювачів концентрованого корму: а – з нерухомим робочим органом; б – з підвісним робочим органом; в – з подачею по осі обертання; г – з подачею вертикальною; д – з додатковим валковим подрібнювачем; е – з додатковим ножовим подрібнювачем

Відповідно до рис. 1.2 подрібнювачі можуть відрізнятись за типом робочих елементів, за способом організації подачі вихідного матеріалу, за способом

виведення подрібненого матеріалу, можуть мати один чи два подрібнюючі механізми як валкового так і барабанного типу. [4]

Найбільшого поширення набули схеми із горизонтальним валом робочих органів. Такого типу механізми краще можна адаптувати до різноманітних систем подавання чи виведення подрібненого продукту. Популярною є схема периферійної подачі матеріалу на подрібнення (1.1 а, б, д, е). В такому варіанті вихідна сировина надходить у робочу порожнину через регулюючий подачу пристрій і відразу взаємодіє послідовно із молотками на роторі, деками та решетом. Проте деякі конструкційні виконання не мають решіт, що не дозволяє керувати процесом утворення часточок певного розміру. Такі подрібнювачі працюють за прохідною схемою і взаємодіють із робочими органами подрібнюючого механізму в процесі переміщення від вхідного отвору до вивантажувального отвору. Зважаючи на вищесказане переважними для отримання часточок заданого розміру є технологічні схеми із решетом. Про перевагу такого варіанту подрібнювачів переконливо свідчить інформація подана на рис. 1.1. [4]

За конструкційним виконанням схеми подрібнювачів із решетом також мають деякі відмінності. Це стосується місця розташування решета по відношенню до горловини завантаження і розвантаження, площі решета, яке може огинати подрібнюючий механізм або займати певний сегмент. Таке розташування визначається місцем організації подачі вхідного матеріалу відносно місця вивантаження готового продукту. Для інтенсифікації процесу руйнування у подрібнюючій камері використовуються деки, які також можуть мати різне місце розташування у робочій камері. [4]

Особливим варіантом є подрібнювачі із осьовим подачею (1.1 в) вхідного матеріалу до камери подрібнення, що дозволяє спростити механізм подачі. Але система впливу на продукт та вивантаження готового продукту не відрізняється від інших варіантів. Відмінною є технологічна схема (1.1 г) із вертикальною віссю обертання подрібнюючого механізму. В такому випадку вивантаження подрібненого матеріалу буде відбуватись гравітаційним чином без використання додаткових

механізмів. Таке рішення є відмінним від усіх інших поданих на рис. 1.1, тому заслуговує на додаткову увагу. [3, 4]

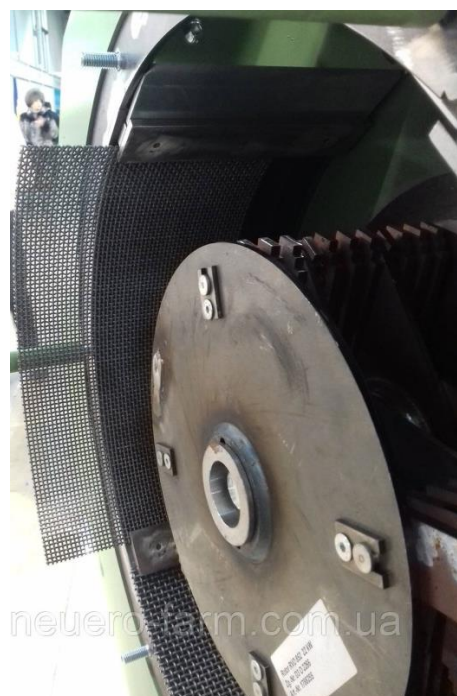
Технологічні схеми (рис. 1.1 е) з двома подрібнюючими апаратами притаманні для універсальних подрібнювачів. Як правило такого типу машини використовуються для подрібнення, наприклад, концентрованого та грубого кормів. Відповідно до завдання на кваліфікаційну роботу необхідно удосконалити подрібнювача концентрованого корму у лінії приготування комбікорму. Тому в подальших розділах розглянемо подрібнювачі для подрібнення тільки концкорму.

1.2. Аналіз конструкційно-технологічних рішень дробарок концентрованих кормів

Для комбікормового виробництва німецька фірма Neuero Farm пропонує дробарку моделі RVO 853 (рис. 1.3). [5]



а



б

Рис. 1.3. Подрібнювач RVO 853 (Німеччина): а – загальний вигляд; б – решето

Дробарка RVO 853 має класичне компонування складових елементів. Подача вихідного матеріалу та вивантаження готового продукту відбувається по периферії робочої камери. Технічні показники наведені у таблиці 1.1. [5]

Таблиця 1.1.

Технічні показники подрібнювача Neuero RVO 853 [5]

Показник	Значення
Продуктивність, т/год	5,3
Тип робочих органів	молотки
Потужність на привод, кВт	22
Габаритні розміри, мм	
довжина	943
ширина	890
висота	1040
Вага, кг	314

Особливістю конструкції дробарки RVO 853 є специфічної форми решето (рис. 1.4), яке відмінне від відомих форм пробивних решет із круглими отворами різного діаметра.



Рис. 1.4. Форми решіт для дробарок RVO 853 [5]

Завдяки такій формі решіт отримується продукт досить малого розміру, що досить важливо у комбікормовому виробництві. Проте вартість такого подрібнювача становить 273205 грн [5], що досить суттєво для невеликих господарств.

Вітчизняний товаровиробник ТОВ «Княжа Авіла» пропонує на ринок подрібнювач концентрованих кормів ДМ-003-ПП (рис. 1.5). [6]



Рис. 1.5. Дробарка кормів молоткова нагнітаюча ДМ-003-ПП (Україна) [6]

Серія дробарок типу ДМ від вітчизняного виробника має декілька типорозмірів, технічні дані яких наведені у таблиці 1.2. Конструкційною особливістю дробарок є наявність трьох камер кожна із яких виконує свою функцію

що суттєво підвищує надійність машини. так присутня камера вловлювання сторонніх предметів що захищає механізми дробарки від поломок, елементи пневматичного транспортування також відокремлено як окремий механізм для своєї камери у конструкції.

Таблиця 1.2.

Технічні показники подрібнювачів серії ДМ виробництва ТОВ «Княжа Авіла»

Показник	Модель		
	ДМ-002-ПП	ДМ-003-ПП	ДМ-004-ПП
Продуктивність, т/год	1,1-1,4	1,8-2,2	2,8-3,1
Тип робочих органів	молотки	молотки	молотки
Потужність на привод, кВт	15	22	30
Довжина гнучкого подаючого трубопроводу, м	8	8	10

Особливістю конструкції дробарок серії ДМ є наявність пневматичної системи завантаження вихідної сировини до подрібнюючої камери та пневматичне розвантаження подрібненого продукту із під решета. Така система транспортування не потребує механічних систем завантаження та розвантаження що значно спрощує та здешевлює технологічний процес подрібнення концентрованого корму. [6]

Проте, механізм подрібнення не зазнав змін, він складається із молоткового ротора та решета, що аналогічно до дробарок класичного виконання серії RVO. Окрім цього, за умови однакової потужності на привод 22 кВт, вітчизняна дробарка ДМ-003-ПП поступається майже удвічі дробарці RVO 853 що вказує на можливі ресурси у підвищенні ефективності вітчизняного обладнання. Але за вдвічі меншої вартості (116640 грн) вона користується попитом серед вітчизняних товаровиробників продукції тваринництва.

Найдешевшою є дробарка із даної серії моделі ДМ-001-ПП (70200 грн.) продуктивність якої 0,6-0,8 т/год при потужності 7,5кВт. Незначні поздовжні габарити розглянутих дробарок обумовлені безпосереднім приводом від флянцевого електричного двигуна. [6, 7] Таке рішення дозволяє позбутись додаткових елементів, наприклад привод через пасову передачу.

Цікавим рішенням у конструкції подрібнювачів зернового матеріалу є дробарка серії RVS/RSI німецької фірми Neuero Farm (рис. 1.6). [8, 9]



Рис. 1.6. Подрібнювач RSI 820 [8, 9]

Відмінність даного обладнання полягає із розглянутими вище в тому порівняно, що решето виконано у формі диска із отворами. Така форма решета, за твердженням виробника дозволяє отримувати дрібноподрібнений продукт при

досить великому діаметрі отворів, наприклад 10 мм, чого не можна отримати в дробарках у яких решето огинає майже повністю ротор із молотками. Окрім цього, продукт який надходить на подрібнення і подрібнений продукт на змінює свого осьового напрямку, тому такі подрібнювачі часто називають радіальними. Технічні дані наведені у таблиці 1.3. [8, 9]

Таблиця 1.3.

Технічні показники подрібнювача Neuero RSI 820 [8, 9]

Показник	Значення
Продуктивність, т/год	2,5
Тип робочих органів	молотки
Потужність на привод, кВт	22
Габаритні розміри, мм	
довжина	920
ширина	835
висота	1020
Вага, кг	440

В модельному ряді присутні дробарки інших типорозмірів (RSI 620 і RSI 720) із продуктивністю від 1-1,4 до 1,4-2,0 т/год. Використання решета у формі диска дозволяє збільшити його товщину без проблем щодо огинання ротора молоткового у інших дробарок. Окрім цього, більша товщина решета сприяє збільшеній тривалості його використання, так як чим тонше решето тим швидше потрібно його замінювати.

Застосування пневматичної подачі матеріалу та пневматичного вивантаження готового продукту спрощує систему транспортування. Проте значна вартість (325929 грн. для моделі RSI 820) порівняно із попередніми конструкціями серійного обладнання ставить під сумнів доцільність експлуатації такого типу подрібнювачі, особливо для невеликих господарств.

Цікавим рішенням у конструкційному виконанні подрібнювачів концентрованого корму є використання технологічної схеми із вертикальною віссю обертання ротора молоткового (рис. 1.7) виробництва Хорольського механічного заводу (Україна). [10]

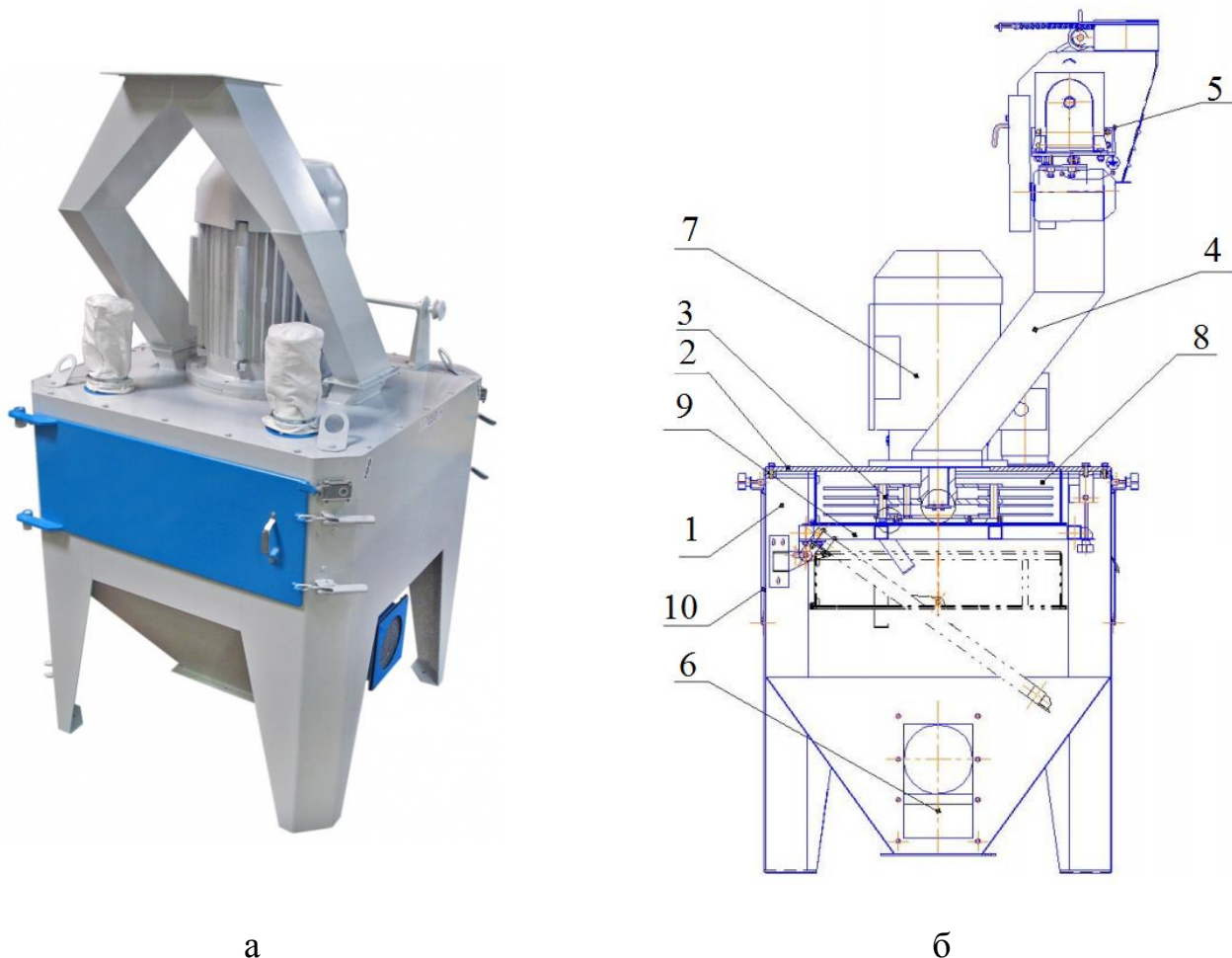


Рис. 1.7. Дробарка молоткова А1-ДМ2Р-В (Україна): а – загальний вигляд; б – конструкційна схема: 1 – станина; 2 – кришка для ротора; 3 – ротор із молотками; 4 – приймач; 5 – живильний патрубок; 6 – захисна камера; 7 – електро двигун; 8 – корпус для встановлення сита; 9 – кріплення корпуса сита; 10 – оглядова дверцята. [10]

Подрібнювач А1-ДМ2Р-В відрізняється від попередньо розглянутих за способом організації технологічного процесу. Вихідний матеріал подається по напрямку осі обертання ротора і виходить в такому ж напрямку.

Технічні дані подрібнювачів серії А1-ДМ2Р наведені таблиці 1.4.

Технічні показники подрібнювачів серії А1-ДМ2Р [10]

Показник	А1-ДМ2Р-22В	А1-ДМ2Р-55В
Продуктивність, т/год:		
діаметр отворів решета 6, 8 мм	7,0	10,0
діаметр отворів решета 5 мм	4,5	8,0
діаметр отворів решета 3 мм	2,5	5,5
Тип робочих органів	молотки	молотки
Потужність на привод, кВт	45	55
Габаритні розміри, мм		
довжина	1000	1200
ширина	1000	1200
висота	2460	2460
Вага, кг	825	950

Проте решето огинає ротор молотковий як і в решти подрібнювачів окрім машин із серії RSI. Таке рішення викликає сумнів, особливо якщо співставними продуктивність та питомі витрати потужності при отриманні мінімального розмірів часточок.

Висновки до розділу 1

1. Проведений аналіз конструкційних рішень обладнання для подрібнення концентрованого корму вказав на велику номенклатуру моделей та типорозмірів машин, що вказує на невпинний пошук інженерів у напрямку виявлення оптимально обладнання. Спрямування сировини та готового продукту вздовж осі обертання молоткового ротора можна вважати цікавим рішенням для подальшого опрацювання.

РОЗДІЛ 2

УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ПОДРІБНЮВАЧА ДЛЯ КОЦЕНТРОВАНОГО КОРМУ

2.1. Встановлення шляхів удосконалення та створення схеми конструкції удосконаленого подрібнювач

Удосконалений у кваліфікаційній роботі подрібнювач концентрованих кормів повинен увібрати позитивні властивості проаналізованого у першому розділі серійного обладнання. Так, до позитивних ознак має належати найменша енергоємність технологічного процесу та найвища надійність. Якщо енергоємність подрібнення у більшості розглянутих варіантах відрізняється несуттєво, то конструкційне виконання подрібнюючого механізму має деякі відмінності щодо підвищення саме надійності та довговічності елементів обладнання.

Слід звернути увагу на конструкційне рішення подрібнювача RSI 820 у якого решето розташоване у площині обертання молотків ротора на відміну від інших моделей та фірм виробників подрібнювачів. Таке рішення дозволяє спростити технологію виготовлення решета, оскільки воно має форму плаского диска із отворами необхідного діаметра. За твердженням виробників такого обладнання розмір отворів 10-12 мм дозволяє отримати дрібні часточки, які можна отримати на подрібнювачах із решетом що огинає ротор із діаметром отворів 3-4 мм. Зрозуміло, що отримати отвори більшого діаметра технологічно легше.

Окрім цього можна використовувати решета збільшеної товщини. Чим товстіше решето тим воно більш довговічніше щодо спрацювання за однакових умов експлуатації. Виготовити решето збільшеної товщини для дробарок у яких воно огинає ротор молотковий технологічно складніше, а експлуатація буде ускладнена із-за деформації геометричної форми отворів.

Таким чином використання решіт пласкої форми має свої переваги, тому у кваліфікаційній роботі використаємо таке рішення. Але за однакових умов витрат

потужності дробарки із пласким решетом поступаються класичного виконання дробаркам. У зв'язку із цим пропонується використання в якості прототипу дробарку А1-ДМ2Р, але встановити пласке решето як у дробарки серії RSI.

Структурно-технологічна схема удосконаленої дробарки подана на рис. 2.1.

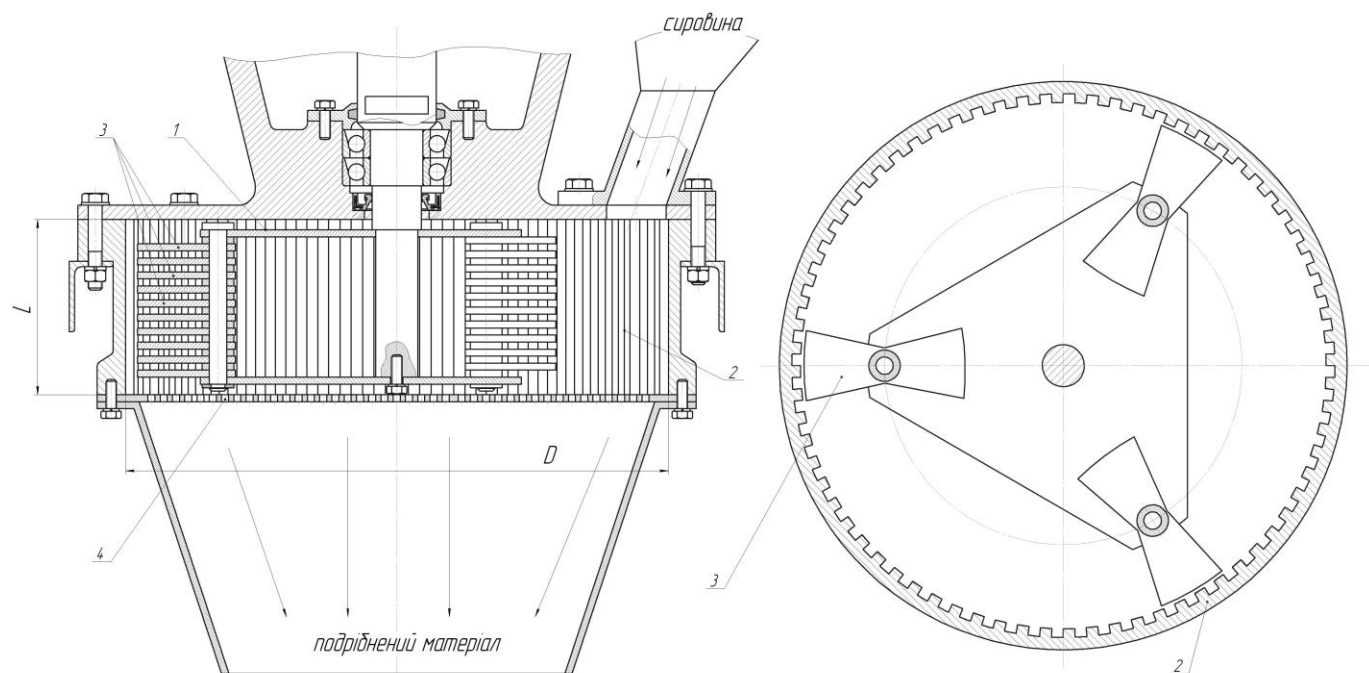


Рис. 2.1. Структурна схема удосконаленого подрібнювача: 1 – ротор молотковий; 2 – деко; 3 – молоток; 4 – дискове змінне решето. [11]

Удосконалений подрібнювач концентрованих кормів працює наступним чином. Вихідний матеріал (сировина, рис. 2.1) подається із завантажувальної горловини до порожнини камери подрібнення. При зустрічі зерна із молотками ротора та зубчастими деками відбувається процес його руйнування. Подрібнений до певного розміру матеріал проходить через отвори плаского решета, і вивантажується самопливом під дією сил гравітації.

За рахунок такого компонування не буде спостерігати зворотного руху подрібненого матеріалу, а використання плаского решета спростить заходи технічного обслуговування.

Таким чином удосконалений подрібнювач увібрав в собі позитивні ознаки подрібнювача RSI 820 – висока надійність та подрібнювача типу А1-ДМ2Р, який відзначається високою продуктивністю за рахунок спрощення системи вивантаження подрібненого матеріалу – не використовується вентилятор. Відомо, що для приводу вентилятора необхідно витратити додаткову потужність, яку краще використати на корисну роботу спрямовану на руйнування вихідної сировини.

2.2. Розрахунок технологічних показників та конструкційно-геометричних параметрів удосконаленого подрібнювача

Розрахунок технологічних параметрів будемо виконувати на основі відомих теоретичних та аналітичних залежностей викладених у літературних джерелах [12-17] та поданих до додатків А, Б та В кваліфікаційної роботи.

Діаметр роторного простору можна визначити за заданою продуктивністю подрібнювача. Так для умов тваринницького підприємства фермерського господарства необхідно виготовити комбікорми в загальній кількості 3200 кг/добу. З врахуванням тривалості часу на утворення кормових сумішок з використанням комбікорму власного виробництва, продуктивність подрібнювача має становити 800 кг/год, відповідно до цього діаметр простору становитиме, м:

$$D_{\kappa} = \sqrt{\frac{1,5 \cdot 0,22}{4}} = 0,289. \quad (2.1)$$

Для подальших розрахунків визначимось із діаметром $D_{\kappa}=310$ мм з врахуванням розташування у камері простору ротора додаткових елементів.

Знаючи значення розміру діаметра встановимо розмір за шириною камери простору для ротора молоткового, м:

$$L_{\kappa} = \frac{0,31}{1,5} \cdot 0,5 = 0,103. \quad (2.2)$$

Оскільки решето має форму плаского диска, то воно не буде охоплювати ротор з молотками на певну величину. Але, з врахуванням положень проектування коефіцієнт який враховує ступінь взаємодії решета із ротором становить 0,5, так як решта площі решета не має контакту із робочими органами. У зв'язку із цим ширину камери простору встановимо конструкційно на рівні 100 мм.

Маючи розміри камери в якій розташований ротор молотковий встановлюємо параметри конструкції робочого органу, в нашому випадку це барабана молоткового діаметр та його ширина, м:

$$D_p = 0,310 - 2 \cdot 8 = 0,294. \quad (2.3)$$

$$L_p = 0,100 - 2 \cdot 4 = 92. \quad (2.4)$$

Відповідно до отриманих розрахункових даних, для задоволення вказаної продуктивності удосконалений подрібнювач концентрованого корму повинен мати діаметр ротор на рівні 294 мм при ширині ротора 92 мм. В таких межах мають знаходитись конструкційні параметри робочого органу удосконаленого подрібнювача.

Визначаємо розмір молоточка на роторі молотковому відповідно із описом представленим на рис. 2.2.

Величина довжини молотка до центру монтування на осі з врахуванням радіусу кругового становитиме, м:

$$R_p = 0,346 \cdot 0,294 = 0,099. \quad (2.5)$$

$$l_m = \frac{4}{9} 0,099 = 0,044. \quad (2.6)$$

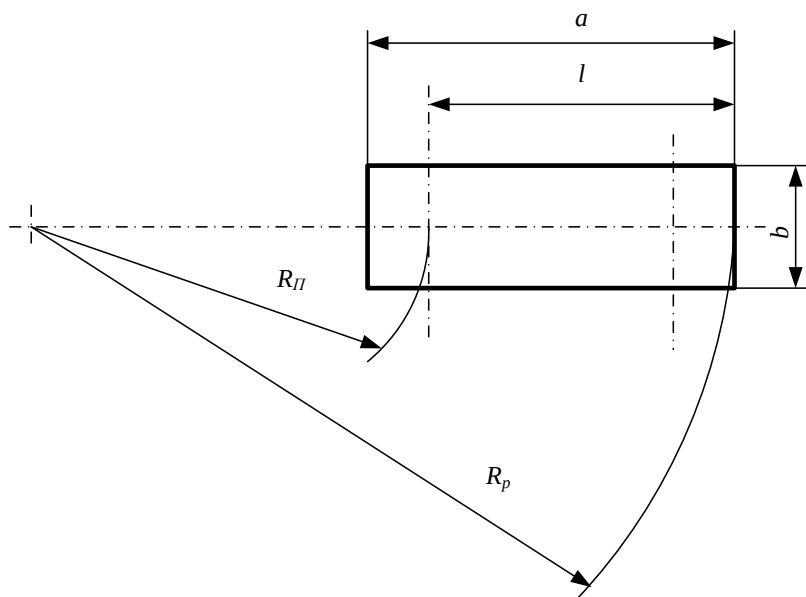


Рис. 2.2. Схема розрахункова

Величина довжини a та параметр ширини b робочих органів, м:

$$a = 1,5 \cdot 0,044 = 0,066. \quad (2.7)$$

$$b = (0,4 \dots 0,5) \cdot 0,066 = 0,026 \dots 0,033. \quad (2.8)$$

Загальна кількість молотків робочих, які розміщені рівномірно по всій ширині камери робочої для ротора молоткового становитиме, шт.:

$$z_p = \frac{1,0 \cdot 103}{4} = 25,75. \quad (2.9)$$

Для реалізації процесу подрібнення будемо використовувати 30 робочих молотків які будуть розподілені рівномірно по трьом осям ротора молоткового.

Для забезпечення проходження подрібненої маси через решето розмір його отворів повинен становити, мм:

$$d_p = \frac{0,9}{0,2...0,4} = 2,25...4,5. \quad (2.10)$$

Таким чином, параметр розміру отвору решета приймається рівним 4 мм. Товщина решета приймається у межах рекомендованими технічною літературою та рекомендаціями виробників від 1,6 до 6 мм.

2.3. Розрахунок енергетичних показників удосконаленої дробарки, встановлення відповідності умовам міцності елементів конструкції

Розрахунок енергетичних показників розпочинається із визначення режимів кінематичних.

Оберти робочого органу ротора молоткового визначаються із врахуванням заданої колової швидкості на кінцях молотків, яку візьмемо рівну 40 м/с, тобі маємо результати, об/с:

$$n_p = \frac{40}{3,14 \cdot 0,294} = 43,33. \quad (2.11)$$

В перерахунку на обертів частоту отримаємо значення 2599,8 хв⁻¹.

Потужність яка буде витрачатись на привод робочого органу складається із втрат потужностей на безпосередній процес руйнування матеріалу та потужностей яка витрачається на холосте переміщення рухомих частин під час робочого процесу.

Відомо із механіки що потужність визначається з врахуванням роботи виконаної за одиницю часу, яка при відомій величині подрібнення ступені та коефіцієнтів отриманих вченими дослідниками процесу руйнування кормових матеріалів, кДж/кг:

$$A_1 = 4,6 \cdot \lg 3,5^3 + 8,15 \cdot (3,5 - 1) = 28,05. \quad (2.12)$$

З врахуванням заданої завданням продуктивності подрібнювача 0,22 кг/с, потужність яку необхідно витратити на процес руйнування становитиме, кВт:

$$N_1 = 28,05 \cdot 0,22 = 6,171. \quad (2.13)$$

Потужність яка витрачається на подолання опорів які спричинені створенням додаткового потоку повітря під час обертального руху робочих органів залежить від геометричних та кінематичних параметрів ротора молоткового та його складових, стану робочого середовища.

В свою чергу, вплив геометричних параметрів робочого органу визначається коефіцієнтом геометрії α_1 який враховує параметр ротора молоткового:

$$\alpha_1 = 1 + \left(\frac{0,045}{2 \cdot 0,47} \right)^2 = 1,031. \quad (2.14)$$

Геометричні параметри робочого ротора включають встановлення необхідної величини площі для втулок розпірних, м²:

$$S_c = 0,018(0,092 \cdot 3 - 0,004 \cdot 30) = 0,00268. \quad (2.15)$$

При врахування кількості робочих органів ротора молоткового та можливої товщини самого молотка при зданій відстані між ними, площа попереку молотка буде становити, м²:

$$S_m = 0,066 \cdot 0,004 \cdot 30 = 0,00792. \quad (2.16)$$

Отримані у формулах (2.8-2.10) значення використаємо для знаходження витрат потужності на подолання опорів під час технологічного процесу, Вт:

$$N_{pp} = \frac{1}{2} (1,1 \cdot 0,00792 \cdot 0,147^3 \cdot 1,028 + 0,1 \cdot 0,00268 \cdot 0,098^3) \cdot 4,51^3 \cdot 1,29 = 578,5. \quad (2.17)$$

Потужність додаткової взаємодії, Вт:

$$N_{pc} = (0,1 \dots 0,2) \cdot 578,5 = 55,85 \dots 115,7. \quad (2.18)$$

Сума потужностей встановлених за формулами (2.11) і (2.12) становитиме, Вт:

$$N_{px} = 578,5 + 115,7 = 694,2. \quad (2.19)$$

Для приводу робочих органів потужність яку має мати енергоджерело визначається як сума потужностей встановлених за формулами (2.7) і (2.13) віднесеними до коефіцієнтів корисних дій елементів передачі обертового приводу, становитиме, Вт:

$$N_{px} = \frac{6171 + 694,2}{0,98} = 7005,306. \quad (2.20)$$

Отже, потужність для приводу необхідна робочих органів повинен розвивати електродвигун не менше як 7,1 кВт. Відповідно до довідникових даних вибрати будемо двигун електричний моделі АІР112М2У3 та виконання 2081/2082 який має потужність 7,5 кВт, частоту ротора обертання 2900 хв^{-1} .

Обертальний момент від вала електродвигуна буде передаватись до робочих органів через шпонкове з'єднання (рис. 2.3), розрахунок параметрів якого викладено в додатку В, починається зі встановлення момента крутного, Н×м:

$$M = \frac{7500}{303,533} = 24,708. \quad (2.21)$$

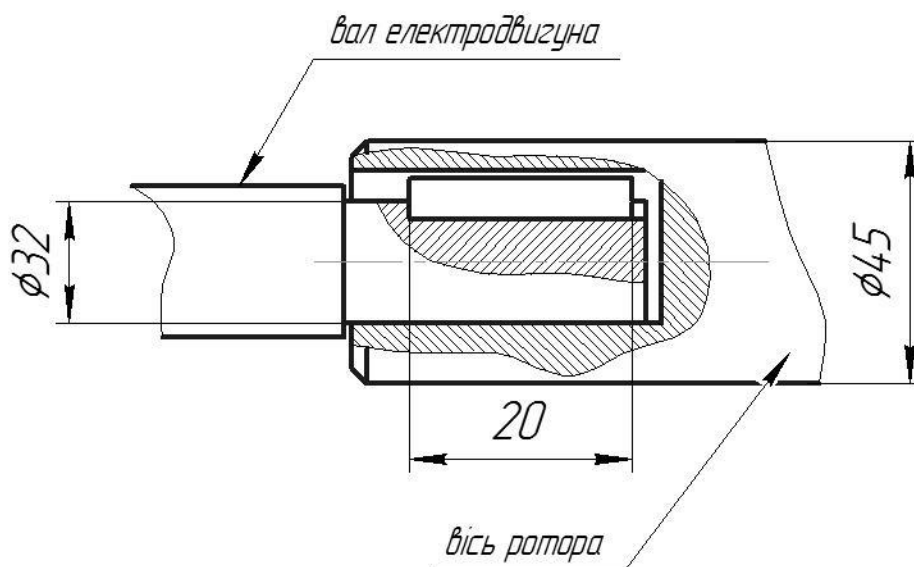


Рис. 2.3. Розрахункова схема приводу

Встановимо значення максимального тиску у з'єднання зі шпонками, Н:

$$[F] = \frac{24,708 \cdot 0,5 \cdot 45}{0,5 \cdot 32} = 31,63. \quad (2.22)$$

Напруження яке може спричинити руйнування у вигляді зрізу залежить від розмірів шпонки та матеріалу з якого вона виготовлена становитиме, Н/мм²:

$$\tau = \frac{31,63}{20 \cdot 7} = 0,23. \quad (2.23)$$

Отримане значення за формулою (2.23) повинне відповідати умові:

$$[\tau] \geq \tau, \quad (2.24)$$

$$80 > 0,23.$$

Отже, умова (2.24) виконується, тому параметри з'єднання витримують діючі зусилля які будуть виникати під час технологічного процесу.

Висновки до розділу 2

1. Розроблена конструкція подрібнювача концентрованих кормів. Удосконалений подрібнювач виконаний за схемою вертикальної осі обертання поєднує в собі позитивні ознаки прототипу, це висока продуктивність, та радіального подрібнювача, який відзначається високою надійністю.

2. Виконані розрахунки дозволили встановити конструкційні параметри удосконаленого подрібнювача. Так, діаметр ротора становить 294 мм, ширина ротора 92 мм, розмір отвору решета становить 4 мм, кількість молотків складає 30 шт. Для приводу ротора молоткового потужність електродвигуна становить 7,5 кВт за умови продуктивності 0,8 т/год. Внаслідок удосконалення енергоємність технологічного процесу подрібнення знизилась до 9,375 кВт×год/т, що на 3,425 кВт×год/т менше ніж у прототипа. Виконано перевірку елементів конструкції системи приводу робочих органів на міцність.

РОЗДІЛ 3

ЕКОНОМІЧНА ТА ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ УДОСКОНАЛЕНОЇ ДРОБАРКИ КОНЦКОРМІВ

3.1. Оцінка показників ефективності удосконаленого подрібнювача концентрованих кормів

Удосконалення будь-якої технічної системи має бути економічно виправданим. З цією метою необхідно провести порівняльну оцінку з використанням відомих розрахункових залежностей та методик [18] які подані у додатку Г кваліфікаційної роботи. Для порівняння оберемо обладнання подрібнювач КДУ [19] із близькою за значенням продуктивністю (0,7 т/год) та потужністю на привод (7,5 кВт) порівняно до удосконаленого подрібнювача.

Розраховуємо величину встановлення обладнання на баланс для машини класичної компоновки та удосконаленого подрібнювача, грн:

$$\begin{aligned} B_{np} &= 1,3 \cdot 69600 = 90480, \\ B_{pp} &= 1,3 \cdot 72100 = 93730. \end{aligned} \tag{3.1}$$

Для поновлення обладнання яке використало свій ресурс встановлюється значення витрат на відрахування амортизаційні, грн:

$$\begin{aligned} B_{np} &= \frac{90480 \cdot 15}{100} = 13572, \\ B_{pp} &= \frac{93730 \cdot 15}{100} = 14059,5. \end{aligned} \tag{3.2}$$

Протягом року подрібнювач має забезпечити добову потребу у комікормах які виготовляються із подрібненого концентрованої вихідної сировини буде мати часове річне навантаження, год:

$$T_{np} = \frac{3,2 \cdot 365}{0,7} = 1668,57.$$

$$T_{pp} = \frac{3,2 \cdot 365}{0,8} = 1460.$$
(3.3)

Витрати на електричну енергію [20] для прототипу та удосконаленого подрібнювача становитимуть, грн.:

$$E_{np} = 6,9 \cdot 7,5 \cdot 1668,57 = 86348,57,$$

$$E_{pp} = 6,9 \cdot 7,5 \cdot 1460 = 75555.$$
(3.4)

Операторам обладнання під час його використання протягом року необхідно виплачувати заробітну плату, яка становитиме, грн.:

$$\Pi_{np} = 145 \cdot 1668,57 = 241942,65,$$

$$\Pi_{pp} = 145 \cdot 1460 = 211700.$$
(3.5)

Загальні експлуатаційні видатки на використання обладнання протягом року становитимуть, грн.:

$$C_{np} = 13572 + 86348,57 + 241942,65 = 341863,22,$$

$$C_{pp} = 14059,5 + 75555 + 211700 = 301314,5.$$
(3.6)

Значення грошових витрат на рік приведених до собівартості та балансової вартості серійного та удосконаленого подрібнювача становитиме, грн/т:

$$P_n = \frac{341863,22}{1168} + 0,15 \cdot \frac{90480}{1168} = 304,31, \quad (3.7)$$

$$P_n = \frac{301314,5}{1168} + 0,15 \cdot \frac{93730}{1168} = 270,01.$$

Економія річних коштів із врахуванням результатів обрахованих у (3.7) становитиме, грн:

$$H = (304,31 - 270,01) \cdot 1 \cdot 1168 = 40062,4. \quad (3.8)$$

Додаткові вкладені кошти у удосконалення подрібнювача концентрованих кормів, роки:

$$D = \frac{93730 - 90480}{40062,4} = 0,1. \quad (3.9)$$

Отже, додаткові вкладення у модернізоване обладнання окупиться протягом 0,1 року.

Висновки до розділу 3

1. Впровадження у виробництво удосконаленого подрібнювача концентрованих кормів дозволить отримати річну економію коштів у сумі 40062,4 грн. порівняно із прототипом подрібнювачем серійним КДУ, що дозволить окупити додаткові витрати протягом 0,1 року.

ВИСНОВКИ

1. Проведений аналіз конструкційних рішень обладнання для подрібнення концентрованого корму вказав на велику номенклатуру моделей та типорозмірів машин, що вказує на невпинний пошук інженерами напрямків виявлення покращення ефективності обладнання. Основною відмінністю подрібнювачів є спосіб подачі вихідної сировини та вивантаження готового продукту. Спрямування сировини та готового продукту вздовж осі обертання молоткового ротора можна вважати цікавим рішенням для подальшого опрацювання.

2. Розроблена конструкція подрібнювача концентрованих кормів. Удосконалений подрібнювач виконаний за схемою вертикальної осі обертання поєднує в собі позитивні ознаки подрібнювачів із горизонтальною віссю обертання ротора. За рахунок вертикального розташування осі обертання ротора молоткового спрощується система вивантаження подрібненого продукту та усуваються недоліки зворотного руху матеріалу. Наявність плоского дискового решета забезпечує вищу надійність та спрощує виготовлення даного елемента.

3. Виконані розрахунки дозволили встановити конструкційні параметри удосконаленого подрібнювача. Так, діаметр ротора становить 294 мм, ширина ротора 92 мм, розмір отвору решета становить 4 мм, кількість молотків складає 30 шт. Для приводу ротора молоткового потужність електродвигуна становить 7,5 кВт за умови продуктивності 0,8 т/год. Внаслідок удосконалення енергоємність технологічного процесу подрібнення знизилась до 9,375 кВт×год/т, що на 3,425 кВт×год/т менше ніж у серійного обладнання з аналогічною системою організації подачі і вивантаження. Виконано перевірку елементів конструкції на міцність.

4. Впровадження у виробництво удосконаленого подрібнювача концентрованих кормів дозволить отримати річну економію коштів у сумі 40062,4 грн. порівняно із прототипом подрібнювачем серійним КДУ, що дозволить окупити додаткові витрати протягом 0,1 року.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Приготування комбікорму: як забезпечити однорідність змішування преміксів (БМВД) : веб-сайт. URL : <https://artmash.ua/article/prigotovlenie-kombikorma-kak-obespechit-odnorodnost-smeshivaniya-premiksov-bmvd>.
2. Хомик Н. І., Довбуш А. Д., Олексюк В. П. Машини та обладнання для тваринництва: навчальний посібник. Тернопіль: ФОП Паляниця, 2021. 240 с.
3. Ревенко І. І., Брагінець М. В., Ребенко В. І. Машини та обладнання для тваринництва : підручник. К. : Кондор, 2012. 713 с.
4. Пакляченко Д. Ю. Оцінка способів подрібнення концентрованих кормів. *Студентські читання–2024* : матеріали науково-практичної конференції. 31 жовтня 2024 р. Житомир: Поліський національний університет, 2024. Ч. 2. С. 10–12.
5. Дробарка зерна молоткова RVO 853 : веб-сайт. URL : (Німеччина) <https://neuero-farm.com.ua/ua/p40754020-drobilka-zerna-molotkovaya.html>
6. 3-х камерна дробарка молоткова нагнітаюча ДМ-003-ПП, 22 кВт : веб-сайт. URL : <https://knyazhaavila.com.ua/ua/p1460105879-kamernaya-drobilka-molotkovaya.html>
7. Продукція для подрібнення : веб-сайт. URL : <https://knyazhaavila.com.ua/ua/g87359000-produktsiya-dlya-podribnennya>
8. Пневматичні дробарки RVS : веб-сайт. URL : <https://neuero-ukraina.com.ua/goods/pnevmatichni-drobarki-rvs/>
9. Всмоктувально-нагнітаючі пневматичні дробарки RVS/RSI : веб-сайт. URL : (Німеччина) <https://neuero-farm.com.ua/ua/p8742842-vsasyvayusche-nagnetayuschie-pnevmaticheskie.html>
10. Дробарка молоткова А1-ДМ2Р-В : веб-сайт. URL : <https://smart.mehzavod.com.ua/catalog/drobilki-molotkovye/a1-dm2r-v/>
11. Пакляченко Д. Ю. Розробка конструкції удосконаленої дробарки концентрованих кормів. *Наукові читання – 2025* : збірник тез доповідей науково-практичної конференції за підсумками І-го туру Всеукраїнського конкурсу

студентських наукових робіт з галузей знань і спеціальностей. 23 квітня 2025 р. Житомир: Поліський національний університет, 2025. С. 5–6.

12. Основи конструювання машин: підручник для студентів інженерно-технічних спеціальностей вищих навчальних закладів / за ред. Ю. С. Рудя. Кривий Ріг: ФОП Чернявський Д. О., 2016. 492 с

13. Павлише В. Т. Основи конструювання розрахунку деталей машин. К.: Вища школа, 1993. 556 с.

14. Борознець Г. М., Павлова В. М., Семах І. В. Деталі машин : навчальний посібник. К.: Видавничий дім «Кондор», 2021. 220 с.

15. Мінняйло А. В., Тіщенко Л. М., Мазоренко Д. І. Деталі машин: підручник. К.: Агроосвіта, 2013. 448 с.

16. Деталі машин і основи конструювання. [Електронний ресурс]: навч. посіб. / О. П. Полешко, В. Л. Дубнюк. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 36 с.

17. Калетнік Г. М. Основи інженерних методів розрахунків на міцність і жорсткість : підручник / за ред. Г. М. Калетніка, М. Г. Чаусова. Київ: Хай-Тек Прес, 2013. 528 с.

18. Данильченко Л. М., Васильків В. В., Ткаченко І. Г. Ефективність інженерних рішень : навч. посібн. Тернопіль : ТНТУ, 2024. 248 с.

19. Подрібнювач зерна молотковий КДУ 7,5 кВт : веб-сайт. URL : <https://stavtekagro.com.ua/ua/p605749342-zernodrobilka-molotkovaya-drobilka.html>

20. Тарифи на електроенергію : веб-сайт. URL : <https://index.minfin.com.ua/ua/tariff/electric/>