ТАВРІЙСЬКА ДЕРЖАВНА АГРОТЕХНІЧНА АКАДЕМІЯ

**ОЛЕКСІЄНКО ВАДИМ ОЛЕКСАНДРОВИЧ**

УДК 631.363.25

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ**

**МАЛОГАБАРИТНИХ ЗЕРНОВИХ МОЛОТКОВИХ**

**КОРМОДРОБАРОК**

Спеціальність 05.05.11 – Машини і засоби механізації

сільськогосподарського виробництва

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня

кандидата технічних наук

Мелітополь – 2006

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Таврійській державній агротехнічній академії Міністерства аграрної політики України.

|  |  |
| --- | --- |
| **Науковий керівник:** | кандидат технічних наук, доцент  **Ялпачик Федір Юхимович**,  Таврійська державна агротехнічна академія,  декан факультету переробки та зберігання продукції сільського господарства. |

**Офіційні опоненти:**

– доктор технічних наук, професор **Чурсинов Юрій Олексійович**,

Дніпропетровський державний аграрний університет, завідувач кафедри технології зберігання і переробки сільськогосподарської продукції;

– кандидат технічних наук, професор **Дацишин Олександр Володимирович,** Національний аграрний університет, завідувач кафедри механізації переробки та зберігання сільськогосподарської продукції.

**Провідна установа:** Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенко.

Захист відбудеться "15" грудня 2006 р. о 10 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 18.819.01 Таврійської державної агротехнічної академії за адресою: 72312 Запорізька обл., м. Мелітополь, пр-т Б. Хмельницького, 18, навчальний корпус 1, конференцзал.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Таврійської державної агротехнічної академії (72312 м. Мелітополь, пр-т Б. Хмельницького, 18).

Автореферат розісланий "...." листопада 2006 року.

Вчений секретар

спеціалізованої вченої ради Діордієв В.Т.

Підписано до друку 09.11.2006 р. Формат 148×210.

Замовлення № 16 від 09. 11. 2006

Обсяг 1,2 ум. друк. арк. Тираж 100.

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Адреса редакції видавця та поліграф підприємства:

72312 м. Мелітополь, ТДАТА, пр-т Б. Хмельницького, 18

Типографія Таврійської державної агротехнічної академії.

**ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ**

**Актуальність теми** полягає в зниженні енергоємності малогабаритного обладнання, яке використовується для подрібнення зернових кормів. Для забезпечення потреб тваринницької галузі на Україні виробляється близько 2,3 млн. тон комбікормів на рік, причому витрати енергії на подрібнення зернових матеріалів складають близько 33 % собівартості готової продукції. Серед засобів механізації вказаного напрямку набули широкого застосування універсальні кормодробарки ударно-перетираючої дії з шарнірно закріпленими молотками. Порівняно з іншими, цей тип машин для подрібнення має досить просту конструкцію, характеризується зручністю в обслуговуванні та експлуатації. Разом з тим, під час роботи молоткових кормодробарок утворюється близько 20 % пиловидних часток в продуктах подрібнення, що знижує кормову цінність сумішей, збільшує технологічні втрати і витрати енергії на переробку.

Однією з причин надмірного подрібнення є порушення умов ефективного ударного руйнування зернівки внаслідок неконтрольованих коливань шарнірно закріпленого на роторі молотка в процесі роботи. При цьому зернівка проходить повторні цикли, зазнаючи дії сколювання і перетирання об молотки та деку кормодробарки, що спричиняє утворення пиловидних часток в процесі роботи.

Підвищення якості подрібнення та зниження енергоємності подрібнювального технологічного обладнання є важливим завданням, особливо в умовах малих господарських організаційних формувань (МГОФ), оскільки поліпшення цих показників значно зменшує собівартість готової продукції тваринницької галузі.

Перспективним напрямком вдосконалення конструкції кормодробарок ударно-перетираючої дії є покращення умов саме ударного руйнування зернівки, оскільки цей спосіб подрібнення більш ефективний, ніж перетирання.

В дисертаційній роботі розглянуто питання по вирішенню наукової задачі підвищення ефективності роботи малогабаритних зернових молоткових кормодробарок відповідно до прийнятої **робочої гіпотези** про те, що підвищення якості та зниження енергоємності процесу подрібнення зернових матеріалів можливе шляхом вдосконалення молоткового ротора кормодробарки на базі дослідження динаміки руху молотка, як фізичного маятника у полі відцентрової квазіпружної сили.

**Зв’язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Робота проводилась згідно програми науково-дослідних робіт Мелітопольського інституту механізації сільського господарства на 1991 – 1995 роки "Розробка ресурсо і енергозберігаючих технологій використання, технічного обслуговування і ремонту сільськогосподарської техніки" (реєстраційний номер № 01920006296), у межах науково-дослідної роботи кафедри обладнання переробних та харчових виробництв Таврійської державної агротехнічної академії відповідно до програми №1 науково-дослідних робіт на 2001-2005 роки “Розробка наукових основ систем технологій і технічних засобів для забезпечення продовольчої безпеки Південного регіону України” (підпрограма 1.6. “Розробка наукових систем технологій і технічних засобів для переробки сільськогосподарської продукції”, державний реєстраційний номер № 0102V000687) і спрямована на часткове вирішення науково-технічної проблеми з впровадження нової техніки в межах цільової комплексної програми “Національна програма розробки і виробництва технологічних комплексів машин і обладнання сільського господарства, харчової та переробної промисловості”, затвердженої Кабінетом Міністрів України від 07.03.1996 р.

**Мета дослідження** полягає у підвищенні ефективності роботи малогабаритних зернових молоткових кормодробарок встановленням раціональних параметрів і режимів роботи ротора з шарнірно закріпленими молотками.

**Задачі**, які вирішувались на етапах дослідження:

– встановити закономірності відносного руху молотка як фізичного маятника у полі відцентрової квазіпружної сили, а на їх основі – ряд переважних значень лінійного співвідношення елементів ротора з шарнірно закріпленими молотками;

– обґрунтувати інтервал раціональних значень співвідношення лінійних розмірів елементів молоткового ротора кормодробарки, який забезпечить найбільшу руйнівну здатність молотків і найменшу металоємність конструкції;

– встановити залежність енергетичних показників процесу подрібнення від розмірно-масових параметрів молотків, в тому числі при зношуванні під час роботи;

– провести порівняльний аналіз якості подрібнення і ефективності роботи вдосконаленого молоткового ротора малогабаритної зернової кормодробарки відповідно до зоотехнічних вимог розміру часток після подрібнення;

– виконати виробничу перевірку і розробити рекомендації щодо підвищення ефективності роботи кормодробарок з шарнірно закріпленими молотками.

*Об’єкт дослідження –* процес подрібнення зернових матеріалів кормодробарками з шарнірно закріпленими молотками.

*Предмет дослідження* – закономірності, які пов’язують конструктивні параметри молоткового ротора кормодробарки і кінематичні, енергетичні та якісні показники процесу подрібнення зернових матеріалів.

*Методи дослідження*. Поставлені задачі вирішувалися з використанням теоретичних методів дослідження, що дозволили досягти основних результатів дисертаційної роботи і підтвердити їх експериментально. Для одержання теоретичної моделі відносного руху робочого органу використовувалися методи абстрагування, ідеалізації об’єкту, диференційного та інтегрального обчислення, основні положення теоретичної механіки. Перевірка теоретичних положень проводилась методом активних експериментів. При обробці експериментальних даних на ПЕОМ застосовувались методи математичної статистики, інтерполяції, апроксимації функції дослідних даних методом найменших квадратів.

**Наукова новизна одержаних результатів.** Вперше одержано теоретичні залежності для визначення критичної швидкості удару і потужності, необхідної для подрібнення, які пов’язують фізико-механічні властивості зернових матеріалів та розмірно-масові параметри молотків – як нових, так і з будь-яким ступенем зношування для малогабаритних молоткових дробарок.

Удосконалено ряд переважних значень співвідношення радіальних лінійних розмірів елементів ротора з шарнірним закріпленням молотків в кормодробарках ударно-перетираючої дії за умови максимальної швидкості первинного удару молотка.

**Практичне значення одержаних результатів.**

За результатами наукових досліджень визначено інтервал раціональних значень показника лінійного співвідношення ротора, застосування якого при вдосконаленні робочого органу дозволяє підвищити ефективність роботи малогабаритних зернових дробарок з шарнірно закріпленими молотками; удосконалено методику визначення моменту інерції складних за конфігурацією зношених молотків кормодробарки; розроблено рекомендації щодо підвищення ефективності роботи малогабаритних зернових кормодробарок з шарнірно закріпленими молотками і порівняльної оцінки ефективності роботи машин для подрібнення зернових матеріалів.

Економічний ефект впровадження рекомендацій на конструкторсько-технологічному підприємстві "КТЕП" (м. Мелітополь Запорізької обл.) полягає у зменшенні металоємності малогабаритних зернових молоткових кормодробарок на 8 %. Модернізація робочого органу молоткової кормодробарки на Якимівському комбікормовому заводі (с.м.т. Якимівка Запорізької обл.) принесла економічний ефект близько 7200 грн. на рік, що підтверджено відповідними актами впровадження.

Результати наукового дослідження та лабораторні установки використано в навчальному процесі при викладанні дисциплін "Процеси і апарати", "Технологічне обладнання переробних і харчових підприємств", "Механізація переробки та зберігання сільськогосподарської продукції", "Експлуатація та обслуговування машин", при курсовому і дипломному проектуванні.

**Особистий внесок здобувача.**

Дисертантом особисто:

– теоретично обґрунтовано і експериментально підтверджено залежність швидкості удару молотка від значення показника лінійного співвідношення ротора [6, 7, 8, 13, 14];

– отримано залежності для визначення раціональних параметрів та режимів роботи молоткового ротора кормодробарки [2, 12];

– обґрунтовано критерій і розроблено методику порівняльної оцінки ефективності роботи машин для подрібнення зернових матеріалів [11, 12];

– розроблено рекомендації по проектуванню нових і модернізації існуючих робочих органів молоткових кормодробарок з шарнірно закріпленими молотками [10].

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення результатів досліджень були представлені на міжнародній науково-технічній конференції "Технічний прогрес у сільськогосподарському виробництві" (м. Київ, Глеваха, 2000 р.), міжнародній науково-технічній конференції "Технічний прогрес у рослинництві" (м. Харків, 2000 р.); міжнародній науково-технічній конференції "Землеробська механіка на рубежі сторіч" (м. Мелітополь, 2001 р.), пленарному засіданні за результатами наукової роботи професорсько-викладацького складу ТДАТА (м. Мелітополь, 2005 р.), міжнародній конференції "Стан і перспективи розвитку переробної галузі АПК" (м. Мелітополь, Кирилівка, 2005 р.), а також на щорічних наукових конференціях професорсько-викладацького складу ТДАТА 2001 – 2006 р.

**Публікації.** Результати досліджень представлені в 14 друкованих працях, в тому числі: 11 статей – у наукових фахових виданнях, 1 – у науково-практичному журналі, затверджених переліком ВАК України і 2 патенти. Загальний обсяг публікацій складає 3,4 авторських аркуша.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертація складається із вступу, п’яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та шести додатків. Загальний обсяг дисертації становить 173 сторінки. З них основна частина дисертації займає 123 сторінки друкованого тексту, де розміщено 37 рисунків та 11 таблиць. Бібліографічний список складається із 140 найменувань літературних джерел. Додатки загальним обсягом 31 сторінка містять 18 рисунків і 5 таблиць.

**ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

**У вступі** і загальній характеристиці роботи визначена актуальність вибраної теми, сформульовані мета і задачі досліджень, вказана наукова новизна та практична цінність, а також апробація дисертації і публікації по матеріалам роботи.

**У першому розділі** "**Сучасний стан питання та вибір напрямків досліджень"** виконано аналіз нормативних документів, систематизацію опублікованих результатів наукових робіт і досвіду роботи тваринницьких господарств, що дозволяє сформулювати вихідні положення для проведення подальших досліджень.

Встановлено, що для виконання операції подрібнення зернових матеріалів раціональним є використання кормодробарок ударно-перетираючої дії з шарнірно закріпленими на роторі молотками за умови зменшення кількості пиловидних часток і пов’язаних із цим підвищених енерговитрат при роботі.

Дослідженню технологічних процесів подрібнення присвячені праці Гернета М.М., Мельникова С.В., Ревенко І.І., Резніка І.І., Кукти Г.М., Сироватки В.І. та ін. Значний вклад в удосконалення машин для подрібнення внесли Бойко А.І., Пилипенко О.М., Сідашенко О.І., Ялпачик Г.С., Ялпачик Ф.Ю., Чурсинов Ю.О., Дацишин О.В. та ін.

Аналіз літературних джерел показав, що на сучасному етапі існують наступні тенденції для підвищення ефективності роботи молоткових кормодробарок:

– проведення сервісно-технологічних заходів по підвищенню безвідказності та надійності роботи кормодробарок (внесення змін у схему термічної обробки молотків, обґрунтування періодичності ТО, уточнення номенклатури запасних частин);

– модернізація дробарки шляхом встановлення додаткових пристроїв на існуючі конструкції (пружний підвіс корпуса, дисбаланс ротора);

– введення енергозберігаючих режимів роботи шляхом встановлення систем управління приводу;

– розробка нових і модернізація існуючих конструкцій на основі вибору раціональних режимів роботи залежно від реологічних властивостей сировини.

Згідно зоотехнічних нормативних документів, в раціоні розглянутих категорій великої рогатої худоби і свиней використовуються частки розміром від 0,7 до 2 мм, отже даний інтервал можна визначити як раціональні зоотехнічні розміри часток комбікорму.

З результатів досліджень, які провели Мельников С.В., Альошкін В.Р., Рощин П.М., відомо, що на роботу кормодробарок із шарнірно закріпленими молотками впливають 42 фактори. Їх аналіз показав, що при розрахунку елементів ротора не враховується вплив відносного коливального руху молотка на режим роботи дробарки (рис. 1).





















******

******

******

******

******

******

























Рис. 1. Схема досліджень.

В результаті аналізу стану питання подрібнення зернових матеріалів дробарками ударно-перетираючої дії визначено напрямок подальших досліджень – встановлення раціональних значень співвідношення елементів ротора малогабаритної зернової кормодробарки на базі вивчення складного руху шарнірно закріпленого молотка як фізичного маятника у полі відцентрової сили.

**У другому розділі** **"Теоретичні дослідження процесу подрібнення кормів дробарками з шарнірно закріпленими молотками"** проведено кінематичний аналіз руху молотка кормодробарки.

В працях М.М. Гернета, В.Д. Земскова, С.В. Мельникова, В.С. Панової та інших дослідників наводиться цілий ряд значень конструктивного співвідношення лінійного розміру радіуса підвісу до приведеної довжини молотка: ***0,25; 2,25; 4; 6,25***. Зазначено, що вказані значення є однаково прийнятними, оскільки рух молотка буде стійким. Проте відмічено, що в межах зони стійкості спостерігаються коливання шарнірно закріпленого на роторі молотка відносно радіального положення, в якому він утримується відцентровою силою інерції при обертанні барабана. Відхилення молотка відбувається під дією сили опору матеріалу, який надходить у робочу камеру через завантажувальний отвір.

Після першого удару молотка частки, що потрапили через завантажувальний пристрій у робочу камеру, одержують ударний імпульс і починають хаотично рухатися в напрямку обертання ротора. Далі відбувається подрібнення розколюванням, стиранням, стисненням і частково – ударом, зі швидкістю меншою, ніж при першому ударі. Тому найбільш сприятливі умови для ударного подрібнення – в зоні завантаження при прямому ударі, коли зернівка рухається перпендикулярно до вектора лінійної швидкості робочої грані молотка.

Удар буде найбільш ефективним [6], коли молоток в зоні завантаження знаходиться у радіальному положенні відносно вісі підвісу і має максимальну відносну швидкість. Вважаючи, що затухання коливань немає, тому що час між двома послідовними ударами складає 0,02…0,03 с, графічно відносний рух молотка за умови найбільш ефективної взаємодії можна представити у наступному вигляді (рис. 2):

******

******

******

******

******

******

******



******

******

******

******

******

******

******

******

******

Рис. 2. Графічна модель коливань молотка:

***φr*** – кут відхилення молотка; ***φе*** – кут повороту ротора.

Залежність періодів обертання ротора і коливань молотка

,

або

 (1)

де ***Те*** – період обертання ротора, с;

***Tr*** – період коливань молотка, с;

***ωe –*** частота обертання ротора, с-1

***ωr –*** частота коливань молотка, с-1

***N*** – ціле число ***0, 1, 2, 3…***

Молоток здійснює складний рух і має два ступені свободи (рис. 3): перший визначається кутом  переносного обертального руху між напрямом вертикальної подачі зерен і радіусом ротора  в напрямі руху, другий – кутом відносного коливального руху  між радіусом ротора  і повздовжньою віссю молотка. В неінерціальній системі відліку переносного руху на молоток діють сили: тяжіння ; опору середовища ; відновлююча відцентрова сила інерції переносного руху ; коріолісова сила інерції ,

|  |  |
| --- | --- |
|  | де ***т*** – маса молотка, кг;  ***g*** – прискорення вільного падіння, м/с2  – коефіцієнт опору середовища, с-1;  ***ωr*** – колова швидкість відносного руху молотка, с-1;  ***ωе*** – колова швидкість переносного руху молотка (частота обертання ротора), с-1;  ***υr*** – лінійна швидкість відносного руху молотка, м/с;  – зведена довжина молотка як фізичного маятника, м;  – радіус ротора, на якому закріплено вісь молотка, м;  ***r*** – радіус обертання центра мас молотка відносно вісі ротора, м. |
| Рис. 3. Розрахункова схема ротора дробарки з шарнірно закріпленими молотками. | |

Розв’язуючи рівняння відносного коливального руху молотка

,

нехтуючи числами другого і подальших порядків в розкладах синуса і косинуса в ряд Тейлора після виконання математичних перетворень отримуємо однорідне нелінійне диференційне рівняння параметричних коливань виду Матьє, рішенням якого є залежність для визначення кута відхилення молотка

, (2)

де ***А*** – амплітуда коливань, м;

***е* –** експонента;

***ωr*** – частота коливань молотка, с-1;

***t*** – час, с;

***ϕо*** – початкова фаза коливань, рад;

***п*** – коефіцієнт загасання, ;

***μ*** – коефіцієнт опору середовища, с-1.

Змінним параметром системи "барабан-молоток" є відцентрова сила інерції, яка відіграє роль відновлюючої квазіпружної сили.

Швидкість зміни кута відхилення, або кутова швидкість коливань молотка визначається як перша похідна від кута відхилення



Лінійна швидкість відносного руху молотка визначається

 (3)

Після перетворень рівняння руху молотка у відповідності до реальних умов роботи дробарки, коли сила тяжіння на два-три порядки менша за відцентрову силу інерції, одержимо залежність для визначення частоти власних коливань молотка

, (4)

де ***ωе*** – частота обертання ротора, с-1.

Одержане рівняння містить геометричні розміри ротора  і молотка , режиму  та умов роботи  дробарки. Коефіцієнт опору середовища залежить від міделева перетину тіла (він малий у плоских молотків), швидкості їх руху і густини середовища. Враховуючи умови роботи дробарки рівняння для визначення частоти коливань молотка буде мати наступний вигляд:

 (5)

Розглянувши кінетичну енергію молотка, на основі теорії удару і енергетичного критерію міцності матеріалів з пружно-в’язкими властивостями, запропонованого Рейнером і Вейсенбергом, було встановлено, що руйнування зернівки відбудеться, якщо значення накопиченої енергії зростає до величини критичної питомої роботи, тобто коли напруга у зразку сягає межі міцності для даного матеріалу. Після перетворень одержано залежність для визначення критичної швидкості удару молотка по зернівці, при якій відбувається руйнування зернового матеріалу масою ***тз*** з модулем пружності ***Е*** і межею міцності *кр*:

, (6)

де *кр* – межа міцності зернового матеріалу, Н/м2;

 – відстань від осі підвісу до центра маси молотка, м;

***т, тз*** – маса молотка і зернівки відповідно, кг;

***V*** – об’єм зернівки, м3;

***kВ*** – коефіцієнт відновлення зернівки;

 – момент інерції молотка:, кг∙м2;

***Е –*** модуль пружності зернівки, МПа.

Корисна потужність молоткового ротора кормодробарки, необхідна для подрібнення зернового матеріалу

, (7)

де ***S*** – площа поперечного перерізу зернівки, м2;

***F*** – зусилля руйнування зернівки, Н.

Аналіз одержаних закономірностей (1, 4, 5) доводить, що за умови найбільш ефективного ударного впливу молотка на зернівку значення співвідношення лінійних розмірів елементів ротора дробарки [7, 8, 10] повинно складати:

, (8)

де ***–*** радіус підвісу молотка, м;

***lзв*** – зведена довжина молотка, м.

Підставляючи значення ***N = 0, 1, 2, 3…,*** одержимо ряд переважних значень показника лінійного співвідношення ротора ***kL***, в якому відсутнє рекомендоване у літературних джерелах значення ***4***.

, (9)

.

Одержаний ряд значень дозволяє конструктивно задати частоту коливань молотка за умови (1) найбільш ефективної ударної дії молотка на зернівку.

Виходячи з виразу (9), значення показника ***kL*** визначає радіальний розмір ротора, отже впливає на габарити і металоємність ротора, деки і корпусу дробарки в цілому.

У господарствах переважна кількість зернових дробарок середньої і малої продуктивності працює з молотками типорозміру ***0,110×0,050×0,004*** м, що мають зведену довжину м. При підстановці у вираз (9) цих значень одержимо, що величина радіуса підвісу повинна бути:

1. при м,
2. при м.

У першому випадку при  радіус підвісу  має технічно непридатні значення. В другому випадку співвідношення  цілком відповідає технічним можливостям виробництва, отже це співвідношення можна вважати переважним, а при експериментальному підтвердженні – раціональним, оскільки у випадку, коли ***N >1*** (радіус підвісу при цьому  м) діаметр молоткового ротора дробарки значно збільшиться, що призведе до збільшення металоємності дробарки в цілому.

Крім того, при експериментальній перевірці необхідно порівняти відносну швидкість ударної взаємодії молотка в зоні завантаження робочої камери при визначеному переважному значенні показника лінійного співвідношення ***= 2,25*** і рекомендованому в літературних джерелах ***= 4***, яке не ввійшло до ряду переважних значень.

**У третьому розділі "Програма та методика експериментальних досліджень"** для експериментальної перевірки висунутої гіпотези описані методи дослідження, вимірювальні пристрої та обладнання.

Програма експериментальних досліджень передбачала:

– перевірку достовірності робочої гіпотези про те, що підвищення якості та зниження енергоємності процесу подрібнення зернових матеріалів можливе шляхом вдосконалення молоткового ротора кормодробарки встановленням раціональних параметрів і режимів роботи на базі дослідження динаміки руху молотка як фізичного маятника у полі відцентрової квазіпружної сили;

– математичну обробку результатів експериментів і встановлення раціональних параметрів молоткового ротора кормодробарки;

– визначення параметрів, які знижують ефективність роботи ротора кормодробарки в результаті зношування в процесі роботи;

– порівняльну оцінку ефективності роботи молоткового ротора при значеннях показника лінійного співвідношення ротора ***2,25*** і ***4***.

Для перевірки достовірності залежності параметрів коливань молотка від показника лінійного співвідношення ротора спеціально розроблено установку для дослідження процесу роботи молоткової кормодробарки [14], рис. 4.









******

Використовуючи явище стробоскопічного ефекту під час обертання ротора, фіксувалися кути відхилення фізичного маятника () для визначення відносної швидкості у коливальному русі при значеннях показника лінійного співвідношення ротора  ***=*** ***1,5; 2,25; 3; 4*** [2].

Виходячи з формул (6) і (7), на енергетичні показники процесу подрібнення впливають розмірно-масові показники молотка: маса молотка (***т***); відстань від осі підвісу до центра маси молотка (***lc***) ; зведена довжина молотка (***lзв***); момент інерції молотка (), які змінюються в результаті його зношування під час роботи кормодробарки.

Складність визначення зведеної довжини зношених молотків складної конфігурації створює певні труднощі при визначення моменту інерції. Нами запропонована удосконалена методика для визначення зведеної довжини виробу за допомогою приладу [13], схема якого зображена на рис. 5.

******





# 

******

******

******

******

******

******

******

******

******

****

******

******

Для проведення експлуатаційно-технологічних випробувань використовували малогабаритну зернову молоткову кормодробарку [1] продуктивністю 100 кг/год, обладнану змінними роторами з показниками лінійного співвідношення ротора ***2,25*** і ***4*** та комплектом вимірювальним К – 505 (рис. 6).

В процесі проведення випробувань фіксували:

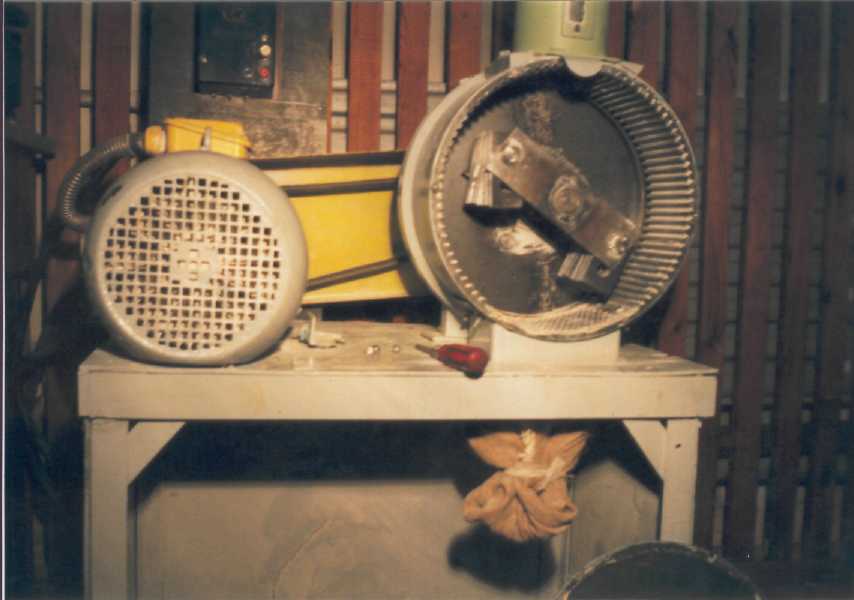
– *по організації випробувань*: ідентичність фізико-механічних параметрів вихідного зернового матеріалу і напругу в електромережі при випробуваннях обох роторів з вказаними показниками ();

– *по режиму роботи*: показник лінійного співвідношення ротора (), подачу зернового матеріалу в робочу камеру (), фактичну потужність електродвигуна (***Ре***), час роботи дробарки ();

– *по якості подрібнення*: якість відбору проби, маса наважки проби, режим роботи класифікатора, маса залишку на ситах і в піддоні класифікатора, втрати при гранулометричному аналізі.







****

****

****

****

****

****

****

****

****

****

****

****

****

****

****

****

****

****

Для подрібнення використовувалося фуражне зерно пшениці, що відповідає вимогам ДСТУ 3768 – 98 з наступними середніми значеннями параметрів: вологість 12,5 – 14,5 %, вміст смітних домішок до 5 %, кількість пилу до 0,26 % від загальної маси наважки, об’єм зернівки 28,3∙10-9 м3, середня площа перерізу зернівки 7,5∙10-6 м2, коефіцієнт відновлення в межах 0,6 – 0,8, зусилля руйнування 120–180 Н, модуль пружності 400 – 500 МПа, маса 1000 зерен 30…40∙10-3 кг.

Якість подрібнення визначалася шляхом гранулометричного аналізу проби подрібнених зернових матеріалів масою 0,1 кг при нормі втрат до 1% за стандартною методикою згідно ГОСТ 134986.8 – 72 на вдосконаленому ситовому кулісному класифікаторі [9]. Режим роботи класифікатора при виконанні експерименту: амплітуда коливань – 0,1 м, частота коливань 1,8…2 с-1. Комплект сит складається: 1 – піддон, 2 – сито з діаметром отворів 1 мм, 3 – сито з діаметром отворів 2 мм, 4 – сито з діаметром отворів 3 мм.

Вимірювання маси молотків, навісок проби, залишків на ситі і фракції у піддоні при гранулометричному аналізі проводилося шляхом зважування на вагах лабораторних моделі ВЛКТ – 500 г 4 класу точності з механізмом компенсації тари, перевірених за ГОСТ 8.228 – 77, що відповідають ТУ 25.06.1101 – 79. Зважування проводилися з похибкою при вимірюванні ±20 мг при температурі навколишнього середовища 21 ± 3°С і відносній вологості повітря в межах від 30 до 80 %.

Параметри електромережі і фактичну потужність електродвигуна фіксували за допомогою комплекту вимірювального К – 505, призначеного для вимірювання сили струму, напруги і потужності в одно і трьохфазних електромережах, клас точності 0,5 по ГОСТ 5.1974 – 73 з похибкою вимірів ±1,0 % в нормальній області частот 40 – 65 Гц.

Для порівняльної оцінки зоо-техніко-економічних показників введено комплексний відносний показник ефективності роботи молоткового ротора:

; (10)

де : – фактичні питомі витрати енергії дробарки, Вт∙год/кг:

 (11)

де  – фактична потужність дробарки, Вт;

 – час роботи дробарки, с;

***тз –*** маса зерна, що було подрібнено, кг;

 – коефіцієнт якості подрібнення

, (12)

де ***тф*** – маса часток раціонального розміру, кг;

***тз*** – загальна маса проби, кг.

Більш ефективною вважалася робота того ротора, який при порівнянні мав менше значення відносного показника ().

**В четвертому розділі** **"Результати теоретичних та експериментальних досліджень"** встановлено, що порівняння результатів теоретичних та експериментальних досліджень підтверджує достовірність одержаних математичних залежностей, оскільки відхилення середнього значення періоду коливань молотка за дослідними даними відносно теоретично визначених не перевищувало 2,04 %.

На основі теоретичної залежності (3) в графічному вигляді представлено динаміку зміни відносної швидкості молотка за один оберт ротора (рис. 7).

Значення і характер кривих при куті повороту ротора  дають змогу визначити напрямок і величину відносної швидкості молотка в момент безпосередньо перед ударом у зоні завантаження робочої камери.

Аналіз графічної залежності при ***кL=1,5*** (рис. 7) показує, що молоток після проходження кута максимального відхилення (між  і ), рухається в сторону удару (знак "+"), але не досягає значення  до удару.

Аналогічне дослідження кривої ***кL=3*** (рис. 7) показує, що молоток в момент удару при, пройшовши радіально-рівноважне положення ( між  і ), наближається до максимального кута відхилення (), відповідно зменшуючи енергію удару (ділянка між  і ).

Значення кривої ***кL=4*** (рис. 7) після проходження максимального кута відхилення (між  і ) досягає екстремуму ( між  і ), що свідчить про проходження радіально-рівноважного положення, і на ділянці між  і , тобто в момент перед ударом, молоток рухається до положення максимального кута відхилення в бік, протилежний напрямку удару.



******





******

******

******





Аналіз показує, що лише при значеннях показника лінійного співвідношення () близьких до ***2,25*** (рис. 7) вектор відносної швидкості молотка направлений в сторону удару, значення наближається до максимуму, відповідно відносний зазор близький до мінімального значення.

Значення відносної швидкості молотка () безпосередньо перед ударом (при ) зростає зі збільшенням показника до деякого максимального значення, а потім різко знижується до від’ємного (рис. 8).

Апроксимація даних експерименту методом найменших квадратів і дослідження на екстремум функції **,** дозволило визначити раціональні значення показника лінійного співвідношення молоткового ротора, які знаходяться у межах від ***2,25***до***2,42***.

В розкодованому вигляді після спрощень кореляційну залежність  відносної швидкості удару молотка від значення показника лінійного співвідношення ротора



де  – відносна швидкість молотка безпосередньо перед ударом, м/с;

***kL***.– показник лінійного співвідношення ротора.

Для молотків, що встановлені на КДУ – 2, процес зношування характеризується зменшенням значення моменту інерції до 60 % від початкового при спрацюванні чотирьох граней до перетину з повздовжньою віссю молотка. Для молотків дробарки АВМ – 1,5 характерним є різке зменшення на 25 % моменту інерції при спрацюванні однієї грані, при перестановці та роботі другої грані відбувається підвищення значення на 14%, і далі поступове зниження до 33 % від початкового значення.



******





******









На основі результатів дослідження розмірно-масових параметрів зношених молотків [3 – 5] за залежністю (7) визначено показник приросту енерговитрат на подрібнення внаслідок зношування молотків.

*Таблиця 1*

**Значення показника приросту енерговитрат на подрібнення**

**залежно від ступеню зношування молотків**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Марка дробарки, де встановлено молоток | Показник приросту енерговитрат ***∆Р*** | | | | |
| новий | Зношені грані молотка ***пі*** | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| КДУ – 2 | 1 | 1,01 | 1,07 | 1,13 | 1,22 |
| АВМ – 1,5 | 1 | 1,02 | 1,05 | 1,23 | 1,25 |

Аналіз даних (табл. 1) доводить, що при зношуванні 1-ї і 2-ї робочої грані молотків дробарок КДУ-2 і АВМ-1,5 зростання потужності відбувається на 7 і 5 % відповідно. При роботі на 3-й і 4-й грані спостерігається різке збільшення витрат потужності на 22 % і 25 % відповідно.

Випробування на малогабаритній зерновій молотковій дробарці при подачі від 60 до 120 кг/год показали, що енергоємність подрібнення при ***кL=2,25*** менша, ніж при ***кL=4*** в середньому на 16 %;відносний показник ефективності роботи ***Ер*** для ротора кормодробарки при ***кL=2,25*** на 25 % менший, ніж при ***кL=4*** [12].

**У п’ятому розділі** “Економічна ефективність використання кормодробарок з раціональними параметрами ротора” встановлено, що впровадження вдосконаленого ротора дозволить отримати економічний ефект 1400 грн. на рік при модернізації існуючого обладнання і 31600 грн. на рік при організації у господарстві власної ділянки по виробництву комбікормів. Термін окупності капітальних вкладень від 0,5 до 1,5 року знаходиться у науково – рекомендованих межах [11].

Впровадження результатів досліджень на ТОВ “Конструкторсько-технологічне експериментальне підприємство КТЕП” (м. Мелітополь Запорізької обл.) показало фактичне зниження металоємності конструкції на 8 %.

При модернізації робочого органу кормодробарки на ТОВ “Якимівський комбікормовий завод”(с.м.т. Якимівка Запорізької обл.) відмічено поліпшення умов роботи існуючого обладнання, економічний ефект складав близько 600 грн. на місяць, що в перерахунку на рік становило 7200 грн. (на 1.08.2004).

**ВИСНОВКИ**

В дисертаційній роботі дано нове вирішення наукової задачі, яка полягає в підвищенні ефективності роботи малогабаритних зернових молоткових дробарок шляхом обґрунтування раціональних параметрів і режимів роботи робочого органу.

За результатами досліджень зроблено наступні висновки:

1. Встановлено, що найбільш ефективним для руйнування зернівки в дробарках ударно-перетираючої дії є перший етап – початковий удар, який можна вважати квазіпружним, оскільки час між двома послідовними ударами молотка складає 0,02...0,03 с і в’язкі властивості подрібнюваного матеріалу не проявляються.
2. Доведено, що для малогабаритних зернових дробарок з радіальним завантаженням необхідною умовою ефективного ударного впливу на зернівку прямим ударом є здійснення молотком непарної кількості напівперіодів власних коливань за період обертання ротора, що забезпечується вибором відповідного значення показника лінійного співвідношення ротора з ряду переважних значень: 0,25; 2,25; 6,25; 12,25.
3. Теоретично встановлено і експериментально доведено, що раціональні значення показника лінійного співвідношення молоткового ротора знаходяться в межах 2,25…2,42, оскільки при цих значеннях молоток має максимальну руйнівну здатність, а ротор – мінімальний діаметр і металоємність.
4. Визначено, що внаслідок зменшення маси, зміни положення центру мас і зведеної довжини при зношуванні молотків, витрати енергії на подрібнення зростають відповідно до зменшення моменту інерції, тому раціональним є експлуатація тільки першої і другої робочих граней до перетину лінії зношування з повздовжньою віссю молотка, оскільки при подальшій експлуатації потужність на подрібнення зростає на 22...24 %.
5. Виконана на основі теоретичних і експериментальних досліджень модернізація ротора кормодробарки з рекомендованими параметрами і режимами роботи забезпечує підвищення якості подрібнення в середньому на 12 % порівняно з базовими конструкціями (сумарна похибка вимірювань при гранулометричному аналізі під час експлуатаційно-технологічних випробувань складала не більше 1%).
6. Ефективність роботи вдосконаленого ротора за комплексним відносним показником, який враховує масу подрібнених часток раціонального розміру (0,7...2 мм) у вихідному продукті і питому енергоємність роботи дробарки, підвищується на 25 % і становить 0,059 кВт год/кг проти 0,079 кВт год/кг базової конструкції.
7. Розрахунок економічної ефективності підтверджує необхідність впровадження малогабаритних зернових кормодробарок з раціональними параметрами ротора у МГОФ тваринницького напрямку, оскільки мінімальний економічний ефект складає 1400 грн./рік, а термін окупності капітальних вкладень не більше 1,5 року знаходиться у науково – рекомендованих межах.

**СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ**

1. *Ялпачик Ф., Алексеенко В., Гуржов О.* Кормодробарка для сімейної ферми.// АПК: наука, техника, практика. – 1989.– №3. – С. 22–23. *(виконано технологічні розрахунки параметрів робочого органу, проведено монтаж і налагодження установки).*
2. *Ялпачик Ф.Ю., Ялпачик Г. С., Алексеенко В.А*. Экспериментальное исследование колебаний модели молотка кормодробилки.// Актуальные вопросы использования технологического оборудования в животноводстве. – К.: УСХА, – 1991.– С. 9–16. *(вдосконалено механізм регулювання довжини математичного маятника, проведено експериментальну частину і статистичну обробку даних)*.
3. *Ялпачик Ф.Ю., Алексеенко В.А, Волков О.П*. Изменения динамических параметров дробилки в процессе износа молотков.// Вісник ХДТУСГ. Підвищення надійності відновлюємих деталей.– Харків, 2000. – Вип. 4.– С. 57–1. *(проведено статистичну обробку і систематизацію експериментальних даних).*
4. *Олексієнко В.О.* Визначення деяких параметрів молотків дробарок ударного типу.// Тези міжнародного наукового конгресу молодих вчених та студентів 16 – 18 травня 2000 р. “Здоров’я села – здоров’я держави". – Львів: Дубляни, 2000.– С. 58–59.
5. *Ялпачик Ф.Ю., Олексієнко В.О., Волков О.П*. Визначення параметрів зношеного молотка за допомогою ЕОМ.// Праці Таврійської державної агротехнічної академії.– Мелітополь, 2000.– Вип. 2. Т. 14.– С. 57–67. *(запропоновано метод лабораторних досліджень за допомогою ЕОМ, виконано порівняльний аналіз розрахункового і запропонованого методів).*
6. *Ялпачик Ф.Ю., Олексієнко В.О., Волков О.П.* Обґрунтування оптимального співвідношення конструктивних параметрів молоткової дробарки.// Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Мелітополь, 2001.– Вип. 1. Т 23. – С. 13–18. *(запропоновано логіко – імітаційну модель руху шарнірно підвішеного молотка кормодробарки на основі відомих результатів досліджень і визначено умови його руху).*
7. *Олексієнко В. О.* Виведення диференційного рівня руху моделі молотка кормодробарки.// Сучасні напрямки технології та механізації процесів переробних та харчових виробництв. – Харків: ХДТУСГ, 2001.– С. 198–205.
8. *Ялпачик Ф.Ю., Олексієнко В.О., Волков О.П.* Обґрунтування співвідношення між радіусом підвішування та приведеною довжиною молотка.// Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Мелітополь, 2001 Вип. 1. Т 18. – С. 152–155. *(запропоновано теоретичне обґрунтування залежності кінетичної енергії удару від коливального руху молотка)*.
9. *Ялпачик Ф.Ю., Олексієнко В.О., Бровченко С.О., Фучаджи Н.О.* Визначення оптимального кінематичного режиму ситового класифікатора.// Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Мелітополь, 2002. – Вип. 7. – С. 3–10. *(вдосконалено кінематичну схему приводу кулісного механізму і особисто проведено експериментальну частину в частині гранулометричного аналізу зернових матеріалів)*.
10. *Олексієнко В.О.* Обґрунтування показника лінійних співвідношень молоткових дробарок.// Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Мелітополь, 2004. – Вип. 20.– С. 106–112.
11. *Олексієнко В.О., Ялпачик Ф.Ю., Кравець О.В.* Економічна оцінка ефективності модернізації молоткової кормодробарки для сучасних форм організації виробництва продукції тваринництва.// Вісник аграрної науки Причорномор'я. – Миколаїв, 2004. – Вип. 3 (27). – С. 229–236. *(виконано оцінку економічної ефективності впровадження модернізованої дробарки у тваринницьких господарствах з поголів’ям 100 голів)*.
12. *Ялпачик Ф.Ю., Олексієнко В.О.* Підвищення ефективності роботи малогабаритних зернових кормодробарок.// Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Мелітополь, 2005. – Вип. 25. – С. 3–13 *(розроблено рекомендації по зниженню енергоємності і підвищенню якості подрібнення зернових матеріалів молотковими дробарками)*.
13. *Олексієнко В.О., Ялпачик Ф.Ю., Гвоздєв О.В*. Пристрій для визначення приведеної довжини виробу.// Патент України № 70652, кл. G01М1/10, пріоритет від 19.12.2003, опубл. 15.10.2004, Бюл. № 10. *(виконано вдосконалення вимірювальної шкали пристрою і оформлення графічної частини).*
14. *Олексієнко В.О., Ялпачик Ф.Ю., Гвоздєв О.В*. Стенд для дослідження процесу роботи молоткової кормодробарки.// Патент України на корисну модель № 3462, кл.G01Н17/00, В02С13/04, пріоритет від 09.03.2004, опубл. 15.11.2004, Бюл. № 11. (*запропоновано метод порівняння енерговитрат при різних показниках лінійного співвідношення ротора молоткової кормодробарки).*

**АНОТАЦІЯ**

**Олексієнко В.О. Підвищення ефективності роботи малогабаритних зернових молоткових кормодробарок. – Рукопис.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.11 – Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва. – Таврійська державна агротехнічна академія, Мелітополь – 2006.

Дисертацію присвячено вдосконаленню робочого органу малогабаритних зернових кормодробарок з шарнірно закріпленими на роторі молотками з метою підвищення якості і зменшення енергоємності процесу подрібнення за рахунок поліпшення умов ударного руйнування зернового матеріалу.

В результаті теоретичних та експериментальних досліджень визначено діапазон раціональних значень показника лінійного співвідношення молоткового ротора, при якому ударне руйнування зернівки відбувається найбільш ефективно за рахунок використання енергії відносного коливального руху молотка. Розроблено робочу формулу для визначення критичної швидкості удару молотка по зернівці для створення напружень у зразку, що досягають межі міцності для даного матеріалу. Приведено результати досліджень зміни параметрів молотка в результаті зношування. Розроблено і впроваджено у виробництво рекомендації по підвищенню якості і зниженню енергоємності подрібнення зернових матеріалів малогабаритними дробарками.

Розрахунки економічної ефективності використання вдосконаленого робочого органу доводять доцільність використання малогабаритних зернових дробарок у тваринницьких господарствах з поголів’ям 100 голів.

**Ключові слова**: *молоток, зернова кормодробарка, подрібнення, показник лінійного співвідношення молоткового ротора, критична швидкість удару, руйнування зернівки, коливання молотка, зношування.*

**АННОТАЦИЯ**

**Алексеенко В.А. Повышение эффективности работы малогабаритных зерновых молотковых кормодробилок. – Рукопись.**

Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.05.11 – Машины и средства механизации сельскохозяйственного производства. – Таврическая государственная академия, Мелитополь – 2006.

В работе рассмотрен один из важных недостатков работы зерновых кормодробилок с шарнирным креплением молотков на роторе – повышенное образование пылевидных частиц и связанная с этим повышенная энергоемкость измельчения сырья на машинах данного типа.

Обоснована актуальность темы, выполнена постановка задач и обоснованы пути повышения эффективности работы молотковых измельчителей, сформулированы основные положения, которые составляют научную новизну и практическое значение работы.

Исследованы условия колебаний молотка, как физического маятника в поле восстанавливающей квазиупругой центробежной силы инерции, которая на два-три порядка превышает гравитационную силу тяжести и является переменным параметром системы "барабан-молоток".

Установлено, что конструктивный параметр – показатель линейного соотношения ротора влияет на параметры колебаний молотка, тем самым изменяя технологический режим измельчения в процессе работы. Полученные зависимости дают ряд предпочтительных значений указанного параметра, при которых относительная скорость молотка в момент первоначальной серии ударов по объему зерна, поступившего в рабочую камеру, будет максимальной. При этом снижаются энергозатраты на разрушение зерна.

Теоретически установлено и экспериментально подтверждено условие наиболее эффективного ударного воздействия молотка, при котором выполняется и условие наименьшей металлоемкости конструкции.

На основании теоретических исследований получены зависимости для определения параметров и режимов работы молоткового ротора с учётом физико-механических свойств измельчаемого материала и особенностей рабочего органа, а также влияния износа молотков в процессе работы на мощность, необходимую для измельчения.

Используя усовершенствованные методики и приборы, экспериментально установлено, что модернизированный ротор со значением показателя линейного соотношения в пределах 2,25…2,42 повышает качество измельчения зерна в среднем на 12 % по сравнению с базовой конструкцией. При этом энергоёмкость измельчения снижается на 16 %. Эффективность работы оценивалась по комплексному показателю и составила 0,059 кВт ч/кг по сравнению с 0,079 кВт ч/кг для базовой модели.

Выполнены производственные испытания ротора с рациональными значениями показателя линейного соотношения и проведена оценка экономической эффективности внедрения малогабаритных зерновых кормодробилок на животноводческих предприятиях с поголовьем 100 голов. Предполагаемый годовой экономический эффект будет составлять от 1400 гривен при модернизации существующей дробилки до 31600 гривен при организации в хозяйстве собственного участка по производству комбикормов. Срок окупаемости капитальных вложений от 0,5 до 1,5 года находится в научно-рекомендуемых пределах.

**Ключевые слова:** *молоток, зерновая кормодробилка, измельчение, показатель линейного соотношения молоткового ротора, критическая скорость удара, разрушение зерна, колебания молотка, износ молотка.*

**ANNOTATION**

**Olekseenko V.O. Work effectivization of grain small-size hammer mill. – Manuscript.**

Thesis is submitted for obtaining scientific degree of candidate of technical sciences on spatiality 05.05.11 - Machines and mechanization tools of agricultural production. – Tavria State Agrotechnical Academy, Melitopol - 2006.:

The thesis is devoted to end-effector perfecting of small-size grain hummer mill with hinge fixed hammers on a rotor for the purpose of quality effectivization and power consumption reduction of powdering process due to improvement of the destruction shock conditions of grain material.

Theoretical and experimental researches have defined a range of rational values of index linear rotor hammer relation in which destruction shock of weevil occurs most effectively due to energy utilization of relative oscillating hammer motion. Working formula is developed for definition of hammer impact critical speed on weevil for stress creation in the sample that attains fastness boundaries for this material. The results of researches of change of hammer parameters are resulted as a result of chafing. It is developed and introduces production recommendation of quality effectivization and power consumption reduction of grain materials refinement by small-size crushers.

Economic efficiency calculations of using advanced end-effector have shown expediency of using grain small-size hummer mill at farm with 100 animals.

**Keywords:** *hammer, grain hammer mill, refinement, index linear rotor hammer relation, impact critical speed, destruction of weevil, oscillation of hammer, chafing.*