

КІРОВОГРАДСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

САВЧЕНКО ВАСИЛЬ МИКОЛАЙОВИЧ

УДК 621.791

**РОЗРОБКА МОЛОТКІВ КОРМОДРОБАРОК З ЛОКАЛЬНИМ ЗНОСОСТІЙКИМ
ПОКРИТТЯМ**

Спеціальність 05.05.11 - Машини і засоби механізації сільськогосподарського
виробництва

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Кіровоград – 2008

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі технічного сервісу та інженерної екології Державного вищого навчального закладу «Державний агроекологічний університет» міністерства Аграрної політики, м. Житомир.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Бойко Анатолій Іванович,
Національний аграрний університет Кабінету Міністрів України,
професор кафедри технології відновлення, випробовування та
надійності сільськогосподарських машин.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Козаченко Олексій Васильович,
Харківський національний технічний університет імені Петра
Василенка, завідувач кафедри технічної експлуатації машин та
устаткування;

кандидат технічних наук
Медяник В. Г., зав. сектором відділу головного металурга ВАТ
«Гідросила», м. Кіровоград.

Захист відбудеться «31» Жовтня 2008 року о 10⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 23.073.01 у Кіровоградському національному технічному університеті за адресою: 25006, м. Кіровоград, пр. Університетський, 8.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Кіровоградського національного технічного університету за адресою: 25006, м. Кіровоград, пр. Університетський, 8.

Автореферат розісланий __ _____ 2008 року.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

В.М. Каліч

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Тваринництво займає провідне місце у сільському господарстві України, а його продукція є джерелом для харчової та переробної промисловості. Ступінь виробництва продукції тваринництва в значній мірі залежить від рівня механізації і автоматизації процесів на фермах та підприємствах з переробки сільськогосподарської продукції.

Одним із шляхів підвищення ефективності робіт у тваринництві є забезпечення необхідної довговічності деталей робочих органів машин. За рахунок підвищення ресурсу машини можна знизити трудомісткість робіт, зменшити енергетичні затрати та покращити якість продукції.

Для подрібнення зерна існує багато конструкцій кормодробарок, найпоширенішими серед яких є молоткові. Загальна кількість молоткових кормодробарок, що експлуатуються в Україні складає, біля 20 тисяч штук.

Проблема забезпечення необхідної надійності кормодробарок пов'язана, насамперед, з конструктивними особливостями, а також умовами експлуатації і матеріалами, які використовуються для виготовлення відповідальних деталей, в тому числі і молоткових робочих органів.

Комплексний підхід на основі структурного аналізу причин і класифікації відмов робочих органів з урахуванням їх конструктивних особливостей, матеріалів та технологій, що застосовуються для зміцнення, відкриває нові перспективи у забезпеченні необхідної довговічності молоткових робочих органів. Це робить проведення досліджень у даному напрямку актуальним.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тема дисертаційної роботи пов'язана «Державною програмою виробництва технологічних комплексів машин та устаткування для сільського господарства, харчової та переробної промисловості на 1998 – 2005 рр.» (п.3.2.3), затвердженої Кабінетом Міністрів України 09.02.1998 року, та з тематичним планом НДДКР Державного агроекологічного університету (м. Житомир).

Метою даної роботи є підвищення довговічності та ефективності роботи молоткових робочих органів кормодробарок

Відповідно до поставленої мети сформульовані наступні наукові задачі.

Задачі досліджень:

1. Виявити причини та закономірності втрати роботоздатності молотками дробарок для подрібнення зерна; обґрунтувати граничне значення їх зношування та наробіток на відмову.
2. Проаналізувати ударно-силові навантаження на робочі поверхні молотків, які обумовлюють процес зношування і втрату роботоздатності.
3. Обґрунтувати багатопрофільне локальне зміцнення молотків, яке підвищує їх довговічність і ефективність подрібнення зернової маси.
4. Дослідити формозміни профілів зношування серійних та експериментальних зміцнених молотків.
5. Розробити новий метод вимірювання зносу (втрати геометричних параметрів) деталей складної форми для визначення зміни геометрії молотків кормодробарок в процесі їх експлуатації.
6. Запропонувати конструкцію локально зміцненого молотка підвищеної довговічності, з керованим в процесі зношування профілем ударної робочої частини.
7. Вивчити динаміку зношування зміцнених молотків і визначити їх наробіток до граничного стану.
8. Провести техніко-економічну оцінку ефективності впровадження результатів дослідження.

Об'єкт досліджень - процес контактної взаємодії молоткових робочих органів ударної дії з зерновою масою, динаміка їх зношування та формозмін.

Предмет дослідження - закономірності впливу сполучень матеріалу зміцнення та матеріалу основи молотків на формування їх роботоздатних робочих поверхонь.

Методи дослідження. Аналітичні дослідження виконувались з використанням основних положень теорії удару, теорії зношування і формування поверхонь на основі опису їх методами аналітичної та диференціальної геометрії. Аналіз зміни геометричних параметрів молотків проводився графоаналітичним методом, шляхом сканування їх робочих поверхонь і обробки інформації за допомогою ЕОМ. Порівняльні експериментальні дослідження виконувались в реальних умовах експлуатації з обробкою результатів загальноприйнятими методами математичної статистики.

Наукова новизна отриманих результатів Обґрунтовано параметри багатопарового локального зміцнення робочих поверхонь подрібнювального інструменту ударної дії. Створено математичну модель процесу зношування робочих поверхонь молотків. Розроблено оригінальну методику визначення профілів форм поверхонь зношування робочих органів, шляхом сканування і обробки отриманих відеозображень. Виявлено закономірностей впливу матеріалу зміцнення і схеми його нанесення на формування роботоздатних профілів робочих поверхонь молотків.

Практичне значення отриманих результатів. Підвищена довговічність молотків вітчизняної кормодробарки ДБ-5 та дробарки польського виробництва "Marol" Н 122 у 1,6 рази. Результати досліджень прийняті до впровадження у виробництво на ТОВ «Малинська м'ясна компанія» (с. Малинівка, Малинського р-ну, Житомирської області) та ПП «Санрайз» (м. Житомир).

Окремі результати теоретичних та експериментальних досліджень дисертації використовуються у навчальному процесі Державного вищого навчального закладу „Державний агроєкологічний університет” (м. Житомир).

Розроблена методика визначення зміни форм при зношенні деталей за допомогою сканування поверхонь і обробки інформації на ЕОМ, рекомендована для оцінки величин зношування деталей складної геометрії.

Особистий внесок здобувача. Основні результати дисертаційної роботи отримані автором самостійно. Зокрема: теоретичні дослідження взаємодії молотка з зерновою масою в камері подрібнення [1]; теоретичні дослідження формування профілів зношування серійних молотків [4]; обґрунтування їх багатопарового локального зміцнення [6]; моделювання зношення робочих поверхонь молотків; розробки програми та методики експериментальних досліджень [3]; вивчення динаміки вимірювання форм серійних і зміцнених молотків та визначення їх граничного значення при зношуванні; виконання статистичної обробки [2], дослідження зрівноваженості на удар [5, 8], аналіз та узагальнення результатів експериментальних досліджень; проведення техніко – економічної оцінки ефективності впровадження результатів роботи.

Особистий внесок здобувача. Основні результати дисертаційної роботи отримані автором самостійно. Зокрема: теоретичні дослідження взаємодії молотка з зерновою масою в камері подрібнення, формування профілів зношування серійних молотків та обґрунтування їх багатопарового локального зміцнення; моделювання зношення робочих поверхонь молотків; розробки програми та методики експериментальних досліджень; вивчення динаміки вимірювання форм серійних і зміцнених молотків та визначення їх граничного значення при зношуванні; виконання статистичної обробки, аналіз та узагальнення результатів експериментальних досліджень; проведення техніко - економічної оцінки ефективності впровадження результатів роботи.

Апробація результатів досліджень. Результати дисертаційної роботи доповідались Всеукраїнській науково-практичній конференції «Українська наука ХХІ століття» (Київ, 2006 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми та перспективи розвитку

механізації агропромислового виробництва» (Полтава, 2006 р.), Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми технічного сервісу сільськогосподарської техніки» (Харків, 2007 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми надійності машин та засобів механізації сільськогосподарського виробництва» (Харків, 2008 р.).

Публікації. По темі дисертації опубліковано 9 наукових праць, з яких 8-у фахових наукових виданнях. Отримано патент України на винахід.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається із вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел, що містить 131 бібліографічне посилання на 14 сторінках та додатків. Обсяг дисертації, в якому викладено основний зміст, складає 132 сторінки і містить 47 рисунків, 5 таблиць. Повний обсяг дисертації складає 142 сторінки.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** приведена загальна характеристика роботи, висвітлена актуальність теми досліджень, сформульована мета, наведена інформація про апробації та публікації основних положень в наукових виданнях.

У **першому розділі** „Аналітичний огляд існуючих конструкцій, умов експлуатації та способів підвищення довговічності робочих органів ударної дії” розглянуто основні види молоткових дробарок, проаналізовані умови експлуатації їх робочих органів, описані причини формування відмов і способи підвищення довговічності.

Питання підвищення ефективності та надійності дробарок знайшли своє відображення в працях провідних науковців Фабриканта М.Б., Гернета М.М., Мельникова С.В., Бойка А.І., Ревенка І.І., Сідашенка А.І., Балакіра Е., Прокопенка І., Вялих В.А., Гаврилова Н., Зверева С., Золотарьова С.В., Тимановського А.В. та інших.

Різні модифікації кормодробарок, що були розроблені в Україні так і за її межами, можна згрупувати в залежності від особливостей конструкторського рішення, принципу роботи та способу завантаження продукту подрібнення до дробарки.

Процес подрібнення відбувається за рахунок багатократного удару молотків по зернам злакових культур. Його виконання в деякій мірі залежить від конструктивних особливостей кормодробарок, але спільним для них є наявність в якості основного робочого органу – подрібнювального ротора з молотками, які відрізняються різною формою і розмірами.

Практикою експлуатації встановлена недостатня довговічність молотків, які інтенсивно зношуються при взаємодії з зерною масою.

Проблемі підвищення довговічності основних робочих органів сільськогосподарських машин присвячені дослідження Рабиновича А.Ш., Черновола М.І., Сичова І.П., Козаченка О.В., Петрова Ю.М., та інших. Незважаючи на отримані позитивні результати, ступінь підвищення довговічності, як правило, не задовольняє практику експлуатації машин. Нові перспективи відкриває комплексний підхід, який ґрунтується на раціональному взаємному доповненні конструктивних і технологічних методів направлених на керування формуванням робочих поверхонь при зношуванні.

За матеріалами першого розділу сформульовані задачі подальших досліджень.

У **другому розділі** «Теоретичні дослідження взаємодії і зношування елементів ударної дії зерною масою», розглянуто ударно-імпульсне навантаження і зношування робочих поверхонь молотків частинами зерна, що подрібнюється.

Подрібнювальна камера представляє собою об'єм циліндричної форми, з робочими органами ударної дії (молотками), що знаходяться в обертовому русі. Молотки шарнірно закріплені на роторі та обертаються з кутовою швидкістю ω . Зустрічаючи зовнішній опір з боку зернової маси, вони відхиляються на деякий кут γ .

Опір руху молотків обумовлюється їх зіткненням з частинами зерна. При таких зіткненнях відбуваються удари між окремими зернами і робочими поверхнями молотків. Схема даного процесу для окремого молотка представлена на рис. 1.

Рис. 1. Схема взаємодії частинки зерна з робочою поверхнею молотка

Молоток зіштовхується із зерниною з деякою кінцевою швидкістю v . Кут атаки (кут між вектором швидкості удару та дотичною до робочої поверхні в точці контакту зернини з молотком) складає α .

Припустимо, що деформоване зерно або окремі його частинки, які виникли в результаті подрібнення, відбиваються від робочої поверхні під кутом β та віддаляються від поверхні зі швидкістю V_0 .

Представляючи зернину як точку, оскільки її розміри досить малі в порівнянні з робочою поверхнею, а вплив обертального імпульсу після удару можна виключити внаслідок гальмівного впливу потоку зернової маси, напрямок вектору імпульсу сили S при зіткненні можна визначити на основі наступного векторного співвідношення:

$$\vec{V} - \vec{V}_0 = \frac{\vec{S}}{m}, \quad (1)$$

де m – маса зернини

Ударний імпульс представляє собою силову характеристику контактної взаємодії зернини з робочою поверхнею молотка. Саме він є енергетичним джерелом процесів, що протікають при контакті зерна з ударним елементом (молотком). Зусилля та енергія, що виникають при ударі з однієї сторони витрачаються на деформацію та руйнування частинок, а з іншої - на спрацювання робочої поверхні молотка.

З позицій зношування молотків представляє інтерес нормальна складова ударного імпульсу S_n . Виходячи з геометричних побудов та вирішуючи трикутник Δ АБМ (рис.1) після математичних перетворень маємо:

$$S_n = S \cdot \cos \left[\arcsin \left(\frac{V \cos(\alpha - \beta)}{\sqrt{V^2 + V_0^2 - 2VV_0 \sin(\alpha - \beta)}} \right) + \beta \right]. \quad (2)$$

При всій невизначеності розподілення складових ударного імпульсу, що впливають на деформацію, руйнування зерна та спрацювання поверхні молотків, можна стверджувати, що величина спрацювання залежить від кількості циклів ударного навантаження робочої поверхні. Зі збільшенням кількості ударних циклів навантаження, величина спрацювання також буде збільшуватись.

Молотки кормодробарок, що серійно випускаються, виготовлені із однорідного матеріалу без зміцнення. По своїй довжині вони спрацьовуються нерівномірно. Периферійна частина молотка, яка максимально віддалена від центру обертання ротора, зазнає зношування в більшій мірі (рис.2).

Рис. 2. Схема спрацювання серійних монометалевих однорідних молотків

Аналіз геометричних параметрів, що набувають молотки в процесі їх спрацювання показують, що з часом експлуатації, після закінчення початкового періоду пов'язаного з

припрацюванням, форма молотків може бути описана і формалізована відомими геометричними образами. Профіль робочої поверхні, що спрацьовується, в загальному вигляді описується поліномом другого порядку. Або предметно до вибраної системи координат після відповідних математичних перетворень поліном переходить в рівняння параболи $2px = y^2$, де p – параметр параболи.

В полярній системі координат, що є більш зручною для подальшого аналізу, рівняння профілю спрацювання, приймає вигляд:

$$\rho = \frac{p}{1 + \cos \xi}, \quad (3)$$

де ξ – кут повороту полярного радіуса параболи; ρ – полярний радіус параболи.

В перерізі, після проходження припрацювання, початкова прямокутна форма молотка згладжується. Виступаючі кути, внаслідок краєвих ефектів, мають більш інтенсивне спрацювання. В результаті, переріз молотка набуває форму кола, радіус якого дорівнює $r = \sigma/2$. Для аналізу навантажень та дослідження процесу спрацювання, виділимо на поверхні молотка елементарну площадку dS (рис.3). В загальному випадку її суміжні бокові сторони будуть утворені дугами. Оскільки полярний радіус ρ , який описує профіль молотка при спрацюванні, є величина змінна і визначається рівнянням (3), то можна записати:

$$dh = \frac{p}{1 + \cos \xi} d\xi. \quad (4)$$

Тоді площа елементарної площадки дорівнює:

$$dS = \frac{p}{1 + \cos \xi} d\xi \cdot r \cdot d\psi. \quad (5)$$

На елементарну площадку діє потік зерна, що обумовлює спрацювання матеріалу молотка. Кількість зернин, що попадають на площадку за деякий час Δt , залежить від щільності зернової маси q_3 , відносної швидкості V та напрямку орієнтації площадки.

Виходячи з вищесказаного, кількість зернин дорівнює:

$$N = \frac{\rho \cdot q_3}{1 + \cos \xi} \cdot d\xi \cdot r d\psi \cdot V \cdot \Delta t \cdot \sin \alpha \cdot \sin \psi. \quad (6)$$

Рис.3. Схема спрацювання елементарної площини робочої поверхні молотка

Елементарним силовим навантаженням, є імпульс сили, що дорівнює зміні кількості руху зернини. Враховуючи, що швидкість удару зернини рівна V , а також вважаючи, що після удару, в потоці, зернини отримують швидкість молотка, для імпульсу можемо записати:

$$S = F \cdot \tau = mV, \quad (7)$$

де F – ударна сила; τ – час удару.

За деякий проміжок часу Δt кількість ударів по елементарній площині складає N . Тоді силове навантаження на молоток буде рівним добутку величини імпульсу на їх кількість. Використовуючи рівняння спрацювання, процес втрати маси, а відповідно і геометричних параметрів молотка, можна записати в наступному вигляді:

$$q_M \cdot \rho \cdot d\xi \cdot r \cdot d\psi \cdot d\rho = k \cdot m \cdot V^2 \cdot N, \quad (8)$$

де q_M – щільність матеріалу молотка.

Після скорочень та спрощень рівняння записується у вигляді:

$$q_M \cdot d\rho = m \cdot V^2 \cdot q_3 \cdot k \cdot \cos\left(\gamma - \operatorname{arctg} \frac{p}{\rho \sin \xi}\right) \cdot \sin \psi \cdot dt. \quad (9)$$

Як видно з отриманого рівняння воно не включає параметри елементарної площадки, а має три невідомих величини ρ , ξ та t , дві з яких взаємопов'язані рівнянням профілю молотка. Одна з величин, найбільш суттєво впливає на інтенсивність спрацювання – це швидкість V співудару. Підставляючи значення швидкості для роторного молоткового робочого органу отримаємо:

$$q_M \cdot d\rho = m\omega^2 \cdot \left(R_F + \frac{p \cdot \cos \xi}{1 + \cos \xi}\right)^2 \cdot k \cdot q_3 \cdot \cos\left(\gamma + \operatorname{arctg} \frac{p}{\rho \cdot \sin \xi}\right) \cdot \sin \psi dt. \quad (10)$$

Аналітичне вирішення отриманого диференціального рівняння відносно невідомого ρ не представляється можливим. Рівняння може бути вирішене числовими методами з використанням ЕОМ. Однак для загального аналізу представляє інтерес випадок, коли поверхня молотка максимально навантажена, тобто знаходиться на початковій стадії спрацювання після проходження періоду припрацювання. При цьому робоча поверхня ще не встигла прийняти ту форму, коли кути її атаки частинками зерна будуть найменшими. Тоді

$$\chi \rightarrow 0; \operatorname{arctg} \frac{p}{\rho \sin \xi} \rightarrow 0, \text{ а кут атаки дорівнює } \alpha = \frac{\pi}{2} - \gamma.$$

Вважаючи, що в шарі циркулюючої зернової маси $q_3 = \text{const}$ і проінтегрувавши рівняння (10) отримаємо наступний вираз:

$$R_F + p - \frac{q_M}{m \cdot \omega^2 \cdot k \cdot q_3 \cdot \cos \gamma \sin \psi \cdot t} = \rho. \quad (11)$$

Маючи деякі значення напрацювання молотка за проміжок часу t при відомих параметрах, що входять до складу рівняння спрацювання, є можливість розрахувати величину полярного радіуса. Тоді за відомою формулою параболи визначається полярний кут, що відповідає даному значенню полярного радіуса. В результаті отримаємо всі величини (ρ , ξ , p , $F(x_F, y_F)$) необхідні для побудови профілю молотка, що відповідає напрацюванню за встановлений час t .

Серія таких побудов дає повну інформацію про динаміку зміни геометрії монометалевого однорідного молотка в процесі роботи. Однак для реалізації цього необхідні додаткові експериментальні дані про параметри зношування матеріалів потоком зернових частинок.

Виходячи з аналізу спрацювання монометалевих однорідних молотків та огляду існуючих конструкторсько – технологічних методів підвищення довговічності деталей, для дослідження спрацювання зміцнених молотків кормодробарок, запропонована схема нанесення покриття, яка представлена на рис. 4.

Рис.4. Схема нанесення покриття та аналіз спрацювання зміцнених молотків кормодробарок

По аналогії зі зношенням монометалевих серійних молотків, відбувається зношування незміцненої частини зміцненого молотка.

Враховуючи відносно невелику ширину зони зміцнення $h_y = 2r_y$ у напрямку осі OX та товщину шарів зміцнення в перерізі, з достатньою для практичних цілей точністю можна

вважати, що зміна форми зміцненої зони як в плані, так в перерізі можливо в першому наближенні описати колами відповідних радіусів r_y та r_c .

З метою не ускладнення задачі, прийнято, що зміцнені шари нанесені рівномірно та мають однакову товщину δ_y при загальній товщині молотка δ .

Будемо вважати, що за деякий проміжок часу Δt , центр кола, що описує профіль спрацювання зміцненої зони, в процесі роботи зміститься на відстань Δy . Тоді спрацювання зміцненої зони можна розглянути, як переміщення кола вздовж осі ОУ.

Спрацювання зміцненого молотка, що складається з незміцнених та зміцнених частин, може бути представлено відповідною системою рівнянь:

$$\begin{cases} R_F + P - \frac{q_M}{m \cdot \omega^2 \cdot k \cdot q_3 \cdot \cos \gamma \cdot \cos \psi \cdot t} = \rho; \\ \frac{q_M}{k_y \cdot m_3 \cdot \omega^2 \cdot q_3 \cdot \cos \psi \cdot t} = -\sin \gamma \cdot (y_{Ц} \cdot \sin \gamma + R_0 + AO \cdot \cos \gamma + r_{Ц} \sin \gamma) \end{cases} \quad (12)$$

Сумісне рішення рівнянь представленої системи описує процес спрацювання зміцнених молотків у вигляді формування переміщення профілю у глибину деталі по мірі збільшення їх наробітку. Як видно із представлених рівнянь, суттєвий вплив на формування геометрії робочої частини зміцнених молотків надає співвідношення зносостійкостей матеріалів основи та зміцнення, яке враховується відповідними коефіцієнтами k та k_y . При сталих інших параметрах, які входять до системи (12) від співвідношення коефіцієнтів залежить ступінь зношування матеріалів основи та зміцнення, тобто рельєфність профілю молотка, а від їх абсолютних значень – наробіток на відмову робочої грані.

У **третьому розділі** „Програма і методика експериментальних досліджень” приведена програма і методика експериментальних робіт. Дослідження проводяться з молотками кормодробарок в реальних умовах експлуатації без зайвого впливу на технологічний процес подрібнення. Таким чином, даний вид активного експерименту не передбачає втручання безпосередньо в самий технологічний процес подрібнення зерна. При цьому досліджуються формозміни профілю серійних та зміцнених молотків, крупність помелу зерна та характеристики роботи електродвигуна приводу кормодробарки.

Для проведення досліджень підготовлюються партії зміцнених молотків в кількості не менше як по 80 шт. кожного виду матеріалу і технології нанесення покриття.

Для оцінки зміни геометрії молотків при їх спрацюванні, враховуючи недоліки попередніх методів (вагового, графоаналітичних, об’ємних та інших), розроблений оригінальний метод сканування поверхні і обробки результатів на ЕОМ.

Автоматизована система складається з апаратних засобів і відповідного програмного забезпечення (рис.5).

Рис.5. Структурна схема автоматизованої системи вимірювання параметрів спрацювання молотків: 1 – пристрій формування цифрових відеозображень; 2 – інтерфейс вводу даних у комп’ютер; 3 – комп’ютер обробки інформації; 4 – програмне забезпечення; 5 – вивід інформації на друк (отримання параметрів спрацювання).

До складу апаратного засобу входять: пристрій формування цифрових відеозображень 1 деталей, що досліджуються, пристрій (інтерфейс) введення отриманих відео зображень в комп’ютер 2, а також власне сам комп’ютер 3, який виконує обробку

накопичених відеозображень. Програмне забезпечення 4 виконує збір, обробку і аналіз експериментальної відеоінформації про стан робочих органів ударної дії для подрібнення зерна.

Відеозображення молоткового робочого органу (рис.5), яке отримується за допомогою цифрового фотоапарату обробляється вимірювально цифровим комплексом. В результаті вимірювань геометричних величин, з відеозображень фіксуються значення координат точок контуру деталі.

Знімаючи профілі через інтервал наробітку ΔQ , визначається динаміка зношення молотків з поступовою зміною зазначених геометричних параметрів від наробітку. На підставі цього будуються залежності типу $\alpha = f(Q)$ та інші.

Співставляючи отримані результати зношення і зміни геометрії молотків з якістю помелу зоотехнічними вимогами на приготування кормів, встановлюються граничні значення зносу і вибракувальні параметри молотків.

Якість помелу та енергетичні показники роботи дробарки оцінюються згідно загальноприйнятих методик у відповідності до ГОСТ 13496.8-72 та ГОСТ 7217-86

У **четвертому розділі** „Експериментальні дослідження динаміки зношування та ефективності підвищення роботоздатності молотків” представлені результати експериментальних досліджень.

Дослідження профілів по трьом характерним ділянкам здійснення ударів: прямого, косоного і з ковзанням частинок зерна по робочій поверхні дає

Рис. 6. Залежність зміни кута атаки (α) від довжини робочої частини (l) серійного молотка при наробітках: 1 – Q=50 т.; 2 – Q=100 т.; 3 – Q=150 т.; 4 – Q=200 т.; 5 – Q=100 т.

можливість кількісної оцінки зміни форм молотків. Залежності зміни кутів атаки від довжини робочої частини серійних молотків представлені на рис.6. Як видно з отриманих графів, зміни кутів атаки носять нелінійний характер. Зі збільшенням наробітку, підвищується периметр зношування робочої частини молотків. При граничному зношенні величини робочих ділянок складають: для косоного удару – 3 мм (16%); для удару з ковзанням – 67 мм (84%).

Отримані результати аналізу динаміки зміни профілів серійних молотків при зношуванні дали можливість виявити вплив наробітку на зміну довжини характерних робочих ділянок молотків. Так, на основі вимірювань і обчислень побудовані відповідні залежності, що представлені на рис. 7

Рис. 7. Залежність зміни характерних ділянок удару серійних молотків від їх наробітку: 1 – прямий удар ($\alpha=90^0$); 2 – косий удар ($90^0 + \varphi > \alpha > 90^0 - \varphi$); 3 – ковзаючий удар ($90^0 - \varphi > \alpha > 90^0 + \varphi$), (φ – кут тертя зерна по молотку).

Як видно з графіків, залежності принципово відрізняються між собою. Ділянка прямого удару, що відповідає найбільш ефективній передачі кінетичної енергії, яка витрачається на подрібнення матеріалу (крива 1) зі збільшенням наробітку молотка і його зношуванням поступово скорочується. Після наробітку в Q=155 т., ця ділянка взагалі стає відсутньою, поступаючись двом іншим: з косим та ковзаючим ударами (криві 2 і 3). Ділянка косоного удару, після наробітку Q=100 т. практично не змінюється до кінця терміну експлуатації молотків. Це вказує на те що, ділянка ковзаючого удару (крива 3)

зростає з наробітком в основному за рахунок першої ділянки – прямого удару і частково в наслідок невеликого збільшення робочого периметра молотка. Цим пояснюється тенденція до стабілізації величини ділянки ковзаючого удару при наробітках, що перевищують $Q \geq 180$ т.

Таким чином аналіз зміни форми серійних молотків при зношуванні пояснює причини поступової втрати роботоздатності (формування функціональної відмови) кормодробарки і необхідність проведення своєчасної заміни робочих органів.

На підставі проведених теоретичних досліджень з урахуванням технологічних можливостей локального нанесення зносостійкого покриття, розроблено експериментальний молоток, загальний вигляд якого представлений на рис 8, а

а б

Рис. 8 Експериментальні молотки зміцнені точковою дуговою наплавкою

а – новий; б – зношений.

Як і для серійних, аналіз профілів зношування зміцнених молотків проводиться по трьом ділянкам характерних ударів: прямого, косою і ковзаючого.

Складність формування робочих профілів зміцнених молотків обумовила і складний характер залежностей змін кутів атаки від довжини робочих ділянок (рис.9)

Рис.9. Залежність зміни кута атаки α від довжини робочої частини локально зміцненого молотка при наробітках: 1 – 50т.; 2 – 100т.; 3 – 150 т.; 4 – 200т.; 5 – 250т; 6 – 300т.; 7 – 350 т.

Сімейство отриманих кривих вказує на принципово однаковий характер зміни кута атаки. Для всіх стадій зношування молотків з початку він швидко збільшується, досягає екстремуму – максимуму, потім зменшується до локального мінімуму і знову починає зростати асимптотично, наближуючись до значення прямого удару ($\alpha = 90^\circ$). Зміни кривих, насамперед, пов'язані з перерозподілом ділянок особливостей реалізації нанесення ударів при руйнуванні частинок зерна.

Рис.10 Залежність зміни кута атаки α від товщини σ локально зміцненого молотка при наробітка: 1 – 50т.; 2 – 100т.; 3 – 150 т.; 4 – 200т.; 5 – 250т; 6 – 300т.; 7 – 350 т.

Відповідно до аналізу зношення молотків в плані, згідно фронтальної проекції, розглянутої вище, у перерізі А-А (рис.9) формується також нерівний профіль. Але кривизна профілю в перерізі зміцненого молотка має зворотній характер порівняно з серійним. Це

обумовлено різною інтенсивністю зношування на ділянках зміцнення по бокам молотка і матеріалом основи, що складає середину перерізу

Аналіз профілю з позицій виявлення ділянок прямого, косою і ковзаючого ударів показав, що в процесі зношування їх частки в загальній довжині робочої зони молотка змінюються (рис.11). При чому, якщо величина ділянки ковзаючого удару практично залишається на одному і тому ж рівні (~15 мм.), то ділянка косою удару постійно зростає (рис.11, крива 2) за рахунок зменшення ділянки прямого удару (крива 1).

Рис.11. Залежність зміни довжини характерних ділянок фронтального профілю зміцнених молотків від наробітку: 1 – прямий удар ($\alpha = 90^\circ$); 2 – косий удар ($90 + \varphi \geq \alpha \geq 90 - \varphi$); 3 – ковзаючий удар

Принциповою різницею в роботі зміцнених молотків є те, що вони в процесі експлуатації і зношування не втрачають своєї роботоздатності і ефективно виконують свою функцію по подрібненню зернової маси. При цьому основні показники роботоздатності кормодробарки не виходять за агротехнічні вимоги. Таким чином, фактично для зміцнених молотків на всьому терміні експлуатації не

характерно формування функціональних відмов дробарки в наслідок зношення робочих граней, тобто локальне зміцнення привело до можливості формування таких профілів, що запобігають втраті основних параметрів роботи дробарки (рис. 8б.).

Особливості зношування локально зміцнених молотків змінюють уявлення, порівняно з серійними, про граничну величину їх зношування. Використання в якості граничного зношування, досягнення профілем головної осі симетрії молотка, як це прийнято для серійних, не можна вважати доцільним. Для серійних молотків, на останніх етапах роботи, ковзаючий удар домінує над іншими і знижує експлуатаційні показники дробарки. Ймовірно, що для зміцнених молотків доцільно прийняти за граничне зношування, досягнення профілями такого стану, коли зносостійкий матеріал практично вичерпаний і вже не забезпечує керуемого зношування і формування ефективно працюючого профілю.

Виходячи з результатів експериментальних досліджень проведених в реальних умовах рядової експлуатації встановлено, що граничне зношування локально зміцнених молотків досягається при наробітку в 400т. зернової маси. По відношенню до серійних молотків, коли граничне зношення обумовлене наробітком в 250 т., підвищення довговічності при локальному зміцненні складає 1,6 рази.

Зношення серійних молотків приводить до погіршення якості помелу: модуль помелу зростає з $M=1,17$ мм. до $M=1,43$ мм. (на 22%). При цьому питомі витрати енергії дещо зменшуються, а саме з 5,61 кВт/т./год. до 5,54 кВт/т./год. Локальне зміцнення молотків при зношуванні призводить до формування виступаючих ділянок матеріалу наплавки, це підвищує ефективність їх роботи. Так, модуль помелу знижується до $M=1,06$ мм., а питомі витрати енергії зменшуються на 7,5% порівняно з новими серійними і новими зміцненими молотками.

В п'ятому розділі „Техніко – економічна ефективність впровадження результатів досліджень” вказано, що локальне зміцнення по кутам робочих граней молотків підвищує їх довговічності в 1,6 рази. Запропонований матеріал і технологія зміцнення доступні для

реалізації як на заводах-виробниках, так і на комбікормових заводах тваринницьких комплексів.

При цьому знижуються питомі витрати на тону подрібненої зернової маси, що в порівнянні з серійними молотками становить 14 %. Річний економічний ефект від впровадження молотків, зміцнених точковою дуговою наплавкою дротом ППНП - 80ХС, складає 23998,4 грн., а від впровадження молотків, зміцнених електродом Т-590 – 23186,5 грн.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Перспективним напрямком підвищення недостатньої довговічності молотків кормодробарок слід вважати конструкторсько-технологічний, що поєднує вибір композиції матеріалів основи і зміцнення, а також обґрунтування раціональної схеми локального нанесення зносостійкого матеріалу.

2. Інтенсивність зношування молотків обумовлюється силовим імпульсним навантаженням, що залежить від щільності потоку зернових частинок, яка включає особливий вплив швидкості співудару частинок з робочими поверхнями молотка.

3. Враховуючи нерівномірний розподіл інтенсивностей зношування однорідних монометалевих молотків, робоча частина зміцненого молотка представляється як тришарова конструкція, з нанесенням зносостійкого матеріалу на бокові поверхні.

4. Зношування локально зміцненого молотка з тришаровою робочою частиною описується системою рівнянь (12) з якої видно, що формування профілів робочих граней молотка, як в плані так і в перерізі, залежить від співвідношення зносостійкостей матеріалів основи та зміцнення.

5. Запропонована автоматизована система кількісної оцінки стану складних просторових поверхонь з подальшою обробкою інформації на ЕОМ дає можливість визначення геометричних параметрів фактичного стану і особливостей зношування як серійних, так і зміцнених молотків.

6. При зношуванні серійних молотків спостерігається поступове збільшення периметру робочої частини з втратою ділянок ефективного прямого і косоного ударів. Граничне зношування досягається при наробітку ~ 250 т. і характеризується наступним розподілом ділянок ударів: 16% - косий удар; 84% - ковзаючий; 0% прямий.

7. Зміцнення по кутам робочих граней молотків принципово змінює характер формування профілей зношування з розширенням ділянок більш ефективних прямого і косоного ударів. Зміцнення молотків наплавкою ППНП – 80 ХС або Т-590 практично однаково підвищує їх довговічність в 1,6 рази.

8. Локальне зміцнення молотків призводить до керованого зношування і цілеспрямованого формування виступаючих ділянок робочих граней, що сприяє підвищенню ефективності їх роботи. Так, модуль помелу знижується до $M=1,06$ мм., а питомі витрати енергії зменшуються на 7,5% порівняно з новими молотками.

9. Рекомендації що до підвищення довговічності і ефективності роботи молотків кормодробарок прийняті до впровадження у виробництво на комбікормовому заводі ТОВ „Малинська м'ясна компанія”, м. Малин, Житомирської області та МП „Санрайз”, м.Житомира.

Річний економічний ефект від впровадження молотків, зміцнених точковою дуговою наплавкою дротом ППНП - 80ХС, складає 23998,4 грн., а від впровадження молотків, зміцнених електродом Т-590 – 23186,5 грн.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Денисенко М.І. Структурно-енергетичний підхід до проблеми тертя і зносу деталей машин в потоці зерноsumішей /М.І Денисенко., В.І Рубльов., В.М Савченко // Вісн.

- Харківського нац. техн. ун-ту сіл. госп-ва ім. П. Василенка. – 2004 – Вип. 29. - С. 279-283
2. Бойко А.І. До питання дослідження динаміки зношування зміцнених молотків кормодробарок графоаналітичним способом / А.І. Бойко, А.В. Новицький, В.М. Савченко // Вісн. Харківського держ. техн. ун-ту сіл. госп-ва. – 2005. – Вип.40. - С. 339-343.
 3. Савченко В.М. Методика визначення параметрів зношування молотків кормодробарок за допомогою автоматизованої системи вимірювання геометричних величин / В.М. Савченко, Ю.О. Подчашинський // Вісн. Держ. агрокол. ун-ту. – 2005. - № 1 – С. 253-256.
 4. Савченко В.М. Аналітичне дослідження спрацювання монометалічних серійних молотків кормодробарок /В.М. Савченко, А.І. Бойко // Вісн. Полтавської держ. аграр. акад. – 2006 - № 4. – С. 20-24.
 5. Дослідження зрівноваженості на удар подрібнюючих молотків кормодробарок складної конструктивної форми / А.І. Бойко, С.Е. Тарасенко, Ю.І. Ревенко, В.М. Савченко // Вісн. Харківського нац. техн. ун-ту сіл. госп-ва ім. П. Василенка. – 2007 – Вип. 67. - С. 130-133.
 6. Савченко В.М. Математичний аналіз спрацювання монометалічних серійних молотків кормодробарок / В.М. Савченко // Вісн. Держ. агрокол. ун-ту. – 2007. - № 1 – С. 253-256.
 7. Савченко В.М. Експериментальні дослідження зношування молотків кормодробарок / В.М. Савченко // Вісн. Харківського нац. техн. ун-ту сіл. госп-ва імені П. Василенка. – 2007 – Вип. 62. – С. 190-193.
 8. Савченко В.М. Дослідження зрівноваженості на удар молотків кормодробарок, зміцнених матеріалами змінної щільності / В.М. Савченко, А.І. Бойко/ Вісн. Харківського держ. техн. ун-ту сіл. госп-ва. – 2008. – Вип. 69 - С. 268-273.
 9. Савченко В.М. Визначення нормальної складової ударного імпульсу при взаємодії поверхонь молоткових робочих органів з зерновою масою / В.М. Савченко // Українська наука ХХІ століття: матеріали всеукр. наук.-практ. конф. – К., 2006 – С. 72-74.
 10. Пат. 77014 Україна, МПК В 02 С 13/28. Молоток дробарки./ Денисенко М.І., Бойко А.І., Савченко В.М., Сидоренко К.О., Шаровольський А.М.; заявник та патентотримач Денисенко М.І. - №20040403054; заявл. 26.04.2004; опубл. 16.10.2006., Бюл. №10.

Анотація

Савченко В.М. Розробка молотків кормодробарок з локальним зносостійким покриттям. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.11 – машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва. – Кіровоградський національний технічний університет Міністерства освіти і науки України, Кіровоград, 2008.

Дисертаційна робота присвячена питанням розробки, теоретичним та експериментальним дослідженням параметрів та режимів роботи молоткових робочих органів кормодробарок з локальним зносостійким покриттям.

Представлений аналіз існуючих конструкцій робочих органів призначених для застосування в технологічному процесі подрібнення злакових сумішей, охарактеризовані умови їх експлуатації та існуючі способи зміцнення молотків кормодробарок.

Аналітичними дослідженнями встановлено імпульсне силове навантаження, що діє на робочі поверхні молотків. Обґрунтовані параметри зміцнення, що стали визначальними у виборі раціональної схеми нанесення зносостійкого покриття. Враховуючи нерівномірний

розподіл інтенсивностей зношування однорідних монометалевих молотків обґрунтована робоча частина зміцненого молотка, що представлена тришаровою, з нанесенням зносостійкого матеріалу на бокові поверхні.

Експериментально досліджені закономірності динаміки зношування, як для серійних, так і для зміцнених молотків. Зміцнення по кутам робочих граней молотка принципово змінює характер формування профілів зношування з розширенням ділянок більш ефективних прямого і косоного ударів.

Проведено техніко – економічну оцінку ефективності використання локально зміцнених молоткових робочих органів кормодробарок.

Ключові слова: подрібнювальна камера, молоток, інтенсивність зношування, зміцнення, локальне покриття.

Аннотація

Савченко В.Н. Разработка молотков кормодробилок с локальным износоустойчивым покрытием. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.11 – машины и средства механизации сельскохозяйственного производства. – Кировоградский национальный университет, Кировоград, 2008.

Диссертация посвящена вопросам разработке, теоретическим и экспериментальным исследованиям параметров и режимов работы молотковых рабочих органов кормодробилок с нанесенным локальным износоустойчивым покрытием.

Предоставлен анализ существующих конструкций рабочих органов предназначенных для использования в технологическом процессе измельчения злаковых смесей, характеризованы условия их эксплуатации и способы упрочнения молотков кормодробилок.

Аналитическими исследованиями установлена импульсная силовая нагрузка действующая на рабочие поверхности молотков. Определены параметры упрочнения, определяющие выбор рациональной схемы нанесения износоустойчивого покрытия. Учитывая неравномерное распределение интенсивностей изнашивания монометаллических молотков, доказана рабочая часть упрочненного молотка, представляющая собой трехшаровую поверхность с нанесенным износоустойчивым покрытием на рабочие грани.

Предложена автоматизированная система количественной оценки состояния сложных пространственных поверхностей с последующей обработкой информации на ЭВМ дающая возможность определения геометрических параметров фактического состояния и особенностей изнашивания как серийных так и экспериментальных упрочненных молотков.

Экспериментально исследованы закономерности динамики изнашивания серийных и экспериментальных упрочненных молотков. Упрочнение по углам рабочих граней принципиально изменяет характер формирования профилей изнашивания с расширением зон более эффективного прямого и косоного ударов. Упрочнение молотков наплавкой ППНП-80ХС или Т-590 повышает их долговечность в 1,6 раза, при этом повышается их эффективность работы. Так модуль помола снижается до $M=1,06$ мм, а удельные затраты энергии на дробление снижаются на 7,5% по сравнению с использованием серийных молотков на кормодробилках.

Произведено технико-экономическую оценку эффективности использования локально упрочненных молотковых рабочих органов кормодробилок.

Ключевые слова: дробильная камера, молоток, интенсивность изнашивания, упрочнение, локальное покрытие.

Annotation

Savchenko V.M. Developing hammers of feed grinders with the local wearproof cover. – Manuscript.

The Thesis for getting the scientific degree of Doctor of Science majoring in 05.05.11–machines and means of agricultural manufacturing mechanization. – Kirovograd National Technical University of Ukrainian Education Ministry, Kirovograd, 2008.

The Thesis is devoted to the issues of developing, theoretical, and experimental researches of working preferences and regimes of hammer working details of feed grinders with the local wearproof cover.

The presented analysis of the existed construction of the working details intended for usage in the technological process of herbage mixture grinding, conditions of their exploitations and the existed means of strengthening the hammers of feed grinders are characterized.

There were determined by the analytical researches the impulse power load that operates upon the hammers surfaces. The preferences of strengthening that become instrumental in selecting the rational scheme of applying the wearproof cover were grounded. Taking into consideration the irregular distribution of intensity of wearing out of the entire mono-metal hammers, there was grounded the working part of the strengthen hammer, that was provided as a three-layer with applying the wear proof material on the side surfaces.

The regularities of wearing out the dynamics as for serial so for strengthen hammers were experimentally examined. Strengthening at the corners of the working plates of the hammers, principally changes the character of forming the profiles of wearing out with widening the blocks of more efficient direct or diagonal strokes.

The technical and economic estimation of efficiency in using the locally strengthen hammer working details of feed grinders are held.

Keywords: grinding chamber, hammer, intensity of wearing out, strengthening, and local covering.