

# Сторінка молодого вченого

УДК 664.734.2:303.725.23

**В.М. Савченко**

аспірант  
Державний агроекологічний університет

## **МАТЕМАТИЧНИЙ АНАЛІЗ СПРАЦЮВАННЯ МОНОМЕТАЛІЧНИХ СЕРІЙНИХ МОЛОТКІВ КОРМОДРОБАРОК**

*Запропонований математичний аналіз спрацювання однорідних монометалічних молотків кормодробарок. Визначений радіус спрацювання грані робочої поверхні серійного молоткового робочого органу.*

### **Постановка проблеми**

Молоткові робочі органи в результаті взаємодії із зерною масою зношуються, суттєво змінюються їх геометричні параметри – форма та розміри. Прямокутні робочі грані молотка заокруглюються. Форма спрацьованих молотків спричиняє значний вплив на величину радіальних зазорів між робочими поверхнями дек та молотків, змінює ступінь подрібнення і рівномірність розмірів частинок кормів. Низька довговічність серійних молотків веде до значних збитків, пов'язаних із перестановкою молотків та їх заміною [1,2].

### **Аналіз останніх досліджень**

Пошук раціональної схеми зміцнення молотків для підвищення їх довговічності має науковий і практичний інтерес. Відомо, що молотки кормодробарок які випускаються серійно із однорідного матеріалу без зміцнення і спрацьовуються нерівномірно [3]. Периферійна частина молотка, що максимально віддалена від центру обертання ротора, зазнає руйнування в більшій мірі [4].

Аналіз геометричних параметрів, що набувають молотки в процесі їх спрацювання показують, що з часом експлуатації (після закінчення початкового періоду, пов'язаного з припрацюванням молотків) може бути описана встановленими геометричними образами [3].

### **Постановка завдання**

Постає необхідність у встановленні геометричних параметрів спрацювання молотків кормодробарок, для подальшого обґрунтування локального зміцнення ділянок робочої поверхні таким чином, щоб в процесі спрацювання вона формувалась як найбільш роботоздатна для подрібнення зерна.

### Результати дослідження

Схема спрацювання монометалевих однорідних молотків представлена на рис. 1. В полярній системі координат, (вона є більш зручною для подальшого аналізу), рівняння профілю спрацювання, описується параболою відповідно до схеми представленої на рис. 1., і має вигляд

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

де  $P$  – параметр параболи;

$\xi$  – кут нахилу полярного радіуса параболи.

Геометрична інтерпретація параметру  $P$  представлена на рис. 1. Від його значення залежить положення фокусу (точки  $F$ ) параболи. Виходячи з цього і виконується подальша побудова. Таким чином, варіюючи параметром  $P$ , завжди є змога вибору кривої, що найкращим чином окреслює профіль поверхні спрацювання робочої частини молотка.

При цьому площа елементарної площадки робочої поверхні визначається рівнянням

$$dS = \frac{P}{1 + \cos \xi} d\xi \cdot r \cdot d\psi.$$

\* Науковий керівник д.т.н., професор Бойко А.І.

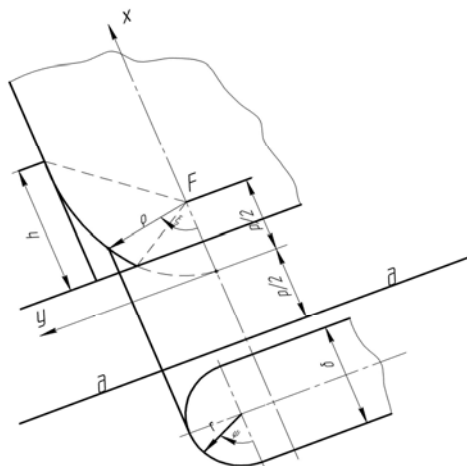


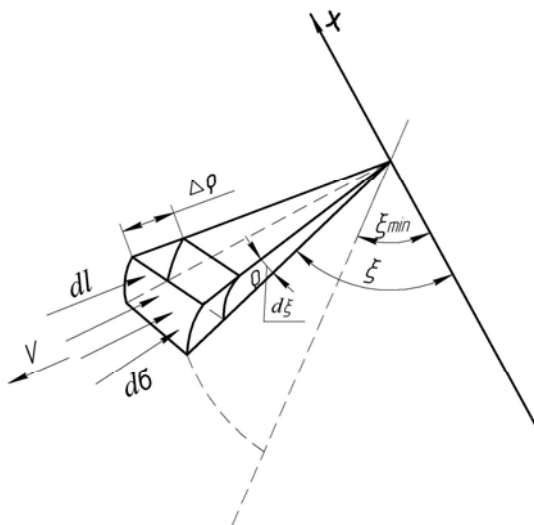
Рис. 1. Схема спрацювання серійних монометалевих однорідних молотків

На елементарну площадку діє потік зерна, що обумовлює спрацювання матеріалу молотка. Кількість зернин, що попадають на площину за деякий

час  $\Delta t$ , залежить від щільності зернової маси  $q_3$  та відносної швидкості  $V$  і дорівнює

$$N_1 = \frac{\rho}{1 + \cos \xi} \cdot d\xi \cdot r d\psi \cdot q_3 \cdot V \cdot \Delta t. \quad (2)$$

Таким чином, на елементарну площину, що належить поверхні молотка, діє потік зернової маси загальною кількістю зернин  $N$ , що викликає спрацювання (втрату маси) та зміщення профілю вглиб деталі. Схематично це показано на рис.2.



**Рис.2. Схема спрацювання елементарної площини  
робочої поверхні молотка**

Контактна задача взаємодії молотка з потоком зернового матеріалу, що подрібнюється, полягає в тому, що з однієї сторони діє потік частинок, який утворює ударні імпульси, а з іншої – протидіє та піддає спрацюванню матеріал молотка.

Необхідно відмітити, що елементарна площадка молотка щодо її положення на робочій поверхні, може бути по-різному орієнтована у просторі. Від її орієнтації залежить і кількість частинок, що контактують з нею і рівна

$$N = N_1 \cdot \sin \alpha \cdot \cos \psi ,$$

$$\text{або} \quad N = \frac{\rho \cdot q_3}{1 + \cos \xi} \cdot d\xi \cdot r d\psi \cdot V \cdot \Delta t \cdot \sin \alpha \cdot \cos \psi. \quad (3)$$

В загальному випадку Кут атаки  $\alpha$  (падіння) зернини залежить від кута повороту молотка на осі кріплення  $\theta$ , обумовленого опором зернової маси, що подрібнюється та кривизною спрацьованого профілю молотка. Геометрична побудова для визначення кута атаки зображена на рис. 3.

У даному випадку, у відповідності до побудови, кут атаки визначається наступною залежністю:

$$\alpha = 90 - \Theta - \chi. \quad (4)$$

Коефіцієнт при незалежній змінній  $\chi$  визначає тангенс кута нахилу дотичної. Тоді кут  $\chi$  буде рівний

$$\chi = \operatorname{arctg} \frac{P}{\rho \cdot \sin \xi}.$$

Підставляючи в рівняння (4) отримане значення кута маємо

$$\alpha = 90 - \Theta - \operatorname{arctg} \frac{P}{\rho \cdot \sin \xi}. \quad (5)$$

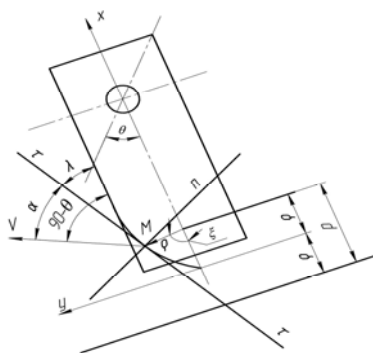


Рис. 3. Схема визначення кута атаки поверхні молотка зерниною

Для кількості зернин діючих на елементарну площадку за певний проміжок часу  $\Delta t$  запишемо

$$N = \frac{Pq_3}{1 + \cos \xi} d\xi \cdot r \cdot d\psi \cdot V \cdot \Delta t \cdot \cos(\Theta + \operatorname{arctg} \frac{P}{\rho \cdot \sin \xi}) \cdot \cos \psi \quad (6)$$

Елементарним силовим навантаженням, що прикладається до елементарної робочої поверхні є імпульс сили, що дорівнює зміні кількості руху зернини. Враховуючи, що швидкість удару зернини рівна  $V$ , а також припускаючи, що зернини після удару отримують швидкість молотка, можемо записати

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

де  $F$  – ударна сила;  
 $\tau$  – час удару;  
 $m$  – маса зерна.

За деякий проміжок часу  $\Delta t$  кількість ударів по елементарній площині складає  $N$ . Тоді силове навантаження на молоток буде рівним добутку величини імпульсу на їх кількість. Ця умова і визначить силову взаємодію зернин з робочою поверхнею інструмента.

Спрацювання молотка відбувається під дією потоку зернин, що взаємодіють з робочою поверхнею. Використовуючи рівняння спрацювання (1), процес втрати маси, а відповідно і геометричних параметрів молотка, при контактній взаємодії та руйнуванні зерна, можна записати:

$$dM = q_M \cdot d\rho = m \cdot V^2 \cdot q_3 \cdot k \cdot \cos(\Theta - \arctg \frac{P}{\rho \sin \xi}) \cdot \cos \psi \cdot dt \quad (8)$$

Ще одна з величин, що належить рівнянню і суттєво впливає на інтенсивність спрацювання, – швидкість співудару  $V$ . Для молоткового роторного робочого органу вона не є величиною постійною і залежить від положення елементарної площини на поверхні молотка. Тобто

$$V = f(\rho, \xi). \quad (9)$$

Для визначення цієї залежності побудована графічна схема, що представлена на рис. 4.

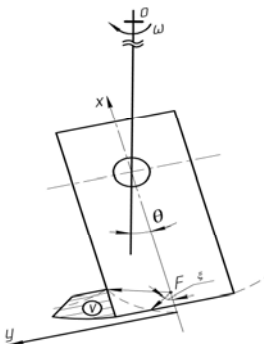


Рис. 4. Схема для визначення зміни швидкості удару

Якщо вважати, що в зоні дії молотків подрібнюючого ротору гальмівний ефект стінок камери подрібнення незначний, то можна вважати, що лінійна швидкість ударної поверхні молотка змінюється лінійно від центру до периферії. Підставивши значення проекції швидкості полярного радіуса  $\rho$  на вісь  $X$ , отримаємо:

$$V = \omega \cdot (R_F + \frac{P}{1 + \cos \xi} \cdot \cos \xi), \quad (10)$$

де  $R_F$  – радіус обертання точки  $F$  (фокуса) навколо центра ротора  $O$ ;  
 $\omega$  – кутова швидкість обертання ротора.

Тоді рівняння спрацювання (8) після підстановки значення швидкості удару набуває вигляду:

$$dM = q_M \cdot d\rho = m\omega^2 \cdot \left(R_F + \frac{P \cdot \cos \xi}{1 + \cos \xi}\right)^2 \cdot k \cdot q_3 \cdot \cos(\Theta - \arctg \frac{P}{\rho \cdot \sin \xi}) \cdot \cos \psi dt. \quad (11)$$

Аналітичне вирішення отриманого диференціального рівняння відносно невідомого  $\rho$  не є можливим. Рівняння може бути вирішене числовими методами та з використанням ЕОМ. Однак для аналізу розглядали випадок, коли поверхня молотка максимально навантажена, тобто після припрацювання – на початковій стадії спрацювання. При цьому поверхня не встигла розвернутися таким чином, щоб кути атаки були, як можна менші, а відповідно, і знизилась інтенсивність спрацювання робочої поверхні. Такий випадок можливий тоді, коли  $\chi \rightarrow 0$ , тобто

$$\arctg \frac{P}{\rho \sin \xi} \rightarrow 0, \quad (12)$$

а кут атаки визначається рівністю

$$\alpha = 90 - \Theta. \quad (13)$$

Щільність маси  $q_3$  можна прийняти в межах товщини шару, що обертається в камері подрібнення, і вважати величиною постійною

$$q_3 = const. \quad (14)$$

Це перш за все обумовлене фізико - механічними властивостями самого зерна, котре не може бути досить ущільненим під дією ваги та центробіжної сили, а також має порівняно невелику товщину шару.

Для аналітичного дослідження рівняння спрацювання поверхні після перетворень набуде наступного вигляду

$$q_M \cdot \frac{d\rho}{R_F + \rho \cdot \cos \xi} = \frac{m \cdot \omega^2}{q_M} \cdot k \cdot q_3 \cdot \cos \Theta \cdot \cos \psi dt. \quad (15)$$

Після рішення інтегралу у лівій частині рівняння та певних перетворень в більш зручний для аналізу вигляд маємо

$$\rho = R_F + P - \frac{q_m}{m \cdot \omega^2 \cdot k \cdot q_3 \cdot \cos \Theta \cos \psi \cdot t}. \quad (16)$$

Тобто, отримуємоМ рівняння, яке визначає величину полярного радіусу, що входить в опис профілю молотків при їх зношуванні.

## Висновки

1. Аналіз спрацювання монометалевих однорідних молотків показує, що при інших рівних умовах, інтенсивність спрацювання суттєво залежить від лінійної швидкості переміщення елементарної площини робочого профілю молотка відносно маси, що руйнується. Саме величина цієї швидкості, визначає величину імпульсного удару та швидкісні параметри спрацювання при контактному навантаженні поверхні тертя.

2. Маючи деякі значення напрацювання молотка за деякий час  $t$  при відомих параметрах, що входять до складу рівняння спрацювання, ми можемо розрахувати величину полярного радіуса, що описує профіль робочої поверхні молотка.

### Перспективи досліджень

Перспективою подальших досліджень є обґрунтування локального зміцнення ділянок робочої поверхні таким чином, щоб в процесі спрацювання вона формувалась, як найбільш придатний для подрібнення зерна.

### Література

1. Кальбус Г.Л., Моисеев А.А. Исследование эксплуатационной надежности дробилок кормов // Исследование и конструирование машин и оборудования для животноводства, – К.: ВНИИживмаш.– 1975. – Вып.1. – С. 171–176.
2. Клименко М.І., Журавель В.Ф., Тимановський О.В. Вплив товщини молотків на процес подрібнення в кормодробарках // Механізація і електрифікація сільського господарства. – К.: Урожай. – 1974. –Вип. 30 –С. 97–100
3. Устранение неравномерности износа молотков кормодробилок / Пилипенко А.Н., Клименко Н.Н, Тимановский А.В., Журавель А. // Механизация и электрификация соц. селського хозяйства. – 1977. – №9. – С. 10–12
4. Роговский Л.Л., Сокол А.Н., Остапенко Г.И. Оценка параметров, влияющих на износ молотков дробилок // Совершенствование процессов и рабочих органов сельскохозяйственных машин, организация и технология ремонта сельхозмашин. – К.: УСХА. – 1982.–С. 104–107.