

УДК 621.362.5

В.М. Боровець^{*}, П.С. КорунякЛьвівський державний аграрний університет,
кафедра механіки, переробки і зберігання продукції
^{*} Національний університет “Львівська політехніка”,

кафедра автоматизації та комплексної механізації машинобудівної промисловості

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ РОБОТИ РОТОРНОЇ ДРОБАРКИ З ПРУЖНИМ КРІПЛЕННЯМ БИЛ

© Боровець В.М., Коруняк П.С., 2003

На підставі розробленої математичної моделі методом числового експерименту досліджено роботу роторної дробарки з пружним кріпленням бил. За результатами проведених досліджень встановлені залежності та зроблені висновки щодо використання пружного кріплення бил у роторних дробарках.

On a foundation of a designed mathematical model the method of numerical experiment investigates operation of a rotary crusher with a flexible mounting flapped. By results of the held studies established dependences and made deductions concerning usage of a flexible mounting flapped in rotary crushers.

Подрібнення застосовують у багатьох галузях виробництва, в яких той чи інший матеріал доводиться подрібнювати. Ефективність процесу залежить від багатьох чинників, а саме: способів подрібнення, стану робочих поверхонь тощо. Тому, покращення техніко-економічних показників подрібнювальних машин є одним із основних завдань, що стоять перед проєктантами та дослідниками нової техніки.

Серед подрібнювальних машин значного поширення набули роторні і молоткові дробарки, які і стали об'єктом наших досліджень. Підвищення ефективності роботи і зниження енергомосткості існуючого технологічного обладнання можливе не лише шляхом вдосконалення конструкції та оптимізації режимів роботи, але і поєднанням основного способу руйнування матеріалу з іншими фізичними явищами. Так, в роботі [1, 2] розглядаються підстави модернізації устаткування для ударного подрібнення і запропоновані нові схеми дробарок, де удар поєднується з вібрацією, а в [3] проведений аналіз роботи дробарки з пружним кріпленням бил.

Проте, у роботах [1 – 3] недостатньо досліджено вплив робочого середовища, конструктивних параметрів обладнання та режимів роботи на поведінку робочих елементів (бил). Оскільки, роторна дробарка з пружним кріпленням бил – одна з чотирьох нових схем, які розглядалися в роботі [1, 2], а відмінність кріплення била вимагає додаткових досліджень її роботи, тому метою досліджень, у даному випадку, є встановлення залежності цих параметрів на подрібнення матеріалу.

На рис. 1 показана розрахункова схема подрібнювальної машини з пружним кріпленням бил.

Розглянемо вплив середовища на пружно закріплені била, бо на відміну від відомої схеми роторної дробарки в цьому випадку вони не тільки рухаються з ротором машини, а ще й відносно нього. Оскільки кутові відхилення пружно закріпленого била невеликі, момент опору середовища ($M_{\text{сеп}}$) відносно осі обертання робочого ротора визначаємо із залежності, наведеної в [4]. Тоді результуючу сил опору матеріалу пружно закріпленого била можна визначити за формулою

$$P = \frac{\alpha_{ш} L_{\delta} \rho_M}{(R_{шз} - R_{шв})^2} \int_{R_{шв}}^{l_p + l_{MM}} [(\dot{\psi} - A_{\vartheta} \omega_n) r - B_{\vartheta} \omega_n]^2 (r - R_{шв})^3 dr, \quad (1)$$

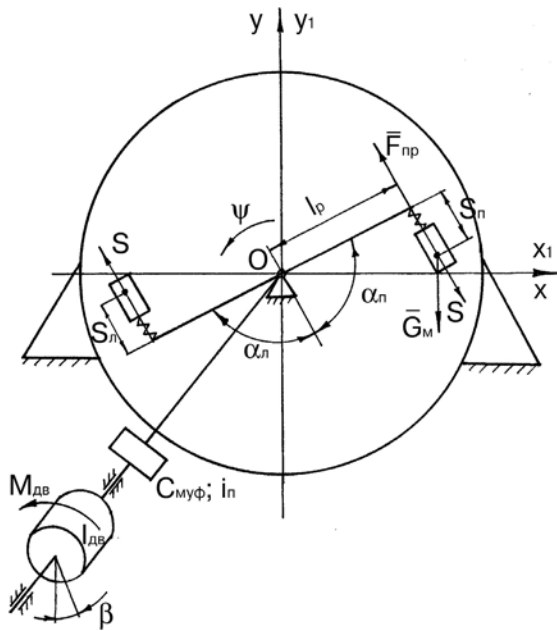


Рис. 1. Принципова схема роторної подрібнювальної машини з пружним кріпленням бил

де $L_{\delta}, R_{шз}, R_{шв}, l_p, l_{MM}, r$ – конструктивні параметри дробарки; $A_{\vartheta}, B_{\vartheta}$ – коефіцієнти пропорційності; $\alpha_{ш}$ – коефіцієнт пропорційності, який враховує властивості матеріалу та ступінь його подрібнення; ρ_M – густина матеріалу; ω_n, ψ – кінематичні параметри дробарки.

Використовуючи узагальнену математичну модель роботи подрібнювальної машини ударної дії [1] і адаптуючи її до даної схеми, математична модель роторної дробарки з пружним кріпленням бил набуває вигляду [3]

$$\begin{cases} \ddot{\psi} \cdot I_{ен} + \sum_{i=1}^2 \ddot{s}_i N_{9i} + 2\dot{\psi} \sum_{i=1}^2 \dot{s}_i N_{10i} = c_{муф} \cdot (\beta - i_M \psi) - \\ - m_{\delta} \varepsilon \left[g \sin \psi + \frac{1}{2} \psi^2 f_{ни\delta} \cdot d_{ни\delta} \operatorname{sign}(\dot{\psi}) \right] - m_M g \sum_{i=1}^2 l_{8i} ; \\ \ddot{\psi} \cdot N_{9i} + \ddot{s}_i m_M + \dot{\psi}^2 (l_{8i} N_{8i} - l_{7i} N_{7i}) = m_M g \sin \psi - c_M s_i ; \quad i = 1, 2 ; \\ I_{\delta\delta} \cdot \ddot{\beta} = M_{\delta\delta} (\ddot{\beta}) - c_{муф} \cdot (\beta - i_M \psi) ; \end{cases} \quad (2)$$

де $I_{ен} = I_{\varepsilon} + 2I_M + m_M \sum_{i=1}^2 (l_{5i}^2 + l_{8i}^2) + m_{\delta} \varepsilon^2$, ψ, s_n, s_n, β – узагальнені координати.

Система рівнянь (2) розв'язується числово за допомогою пакета прикладних програм, яка вимагає значень таких параметрів дробарки та матеріалу, що подрібнюється:

– параметри машини: маси та моменти інерції елементів приводного двигуна та машини; жорсткість муфти або пасової передачі; передатне число передатного механізму; геометричні розміри елементів дробарки; параметри елемента пружного кріплення біла; паспортні дані приводного двигуна; необхідна продуктивність машина;

– параметри матеріалу: коефіцієнти c_{np}, c_v, c_s , що його характеризують [5]; відносна вологість та насипна питома маса; розподіл швидкості матеріалу вздовж радіуса ротора; ступінь подрібнення.

За допомогою математичної моделі (2) методом числового експерименту було досліджено вплив різних параметрів подрібнювальної машини з пружним кріпленням бил на:

- амплітуду відносного відхилення бил $s_i^{екстр}$;
- екстремальні значення різниці кутових швидкостей ротора двигуна і роторного вала машини $(\dot{\beta} - \dot{\psi})$ та відносну швидкість бил \dot{s}_i при розгоні, встановленому русі та гальмуванні;
- нижню частоту коливань бил;
- середню потужність, яку використовує машина під час своєї роботи.

Головні результати числового експерименту, виконаного за допомогою пакета прикладних програм, показані на графіках рис. 2 – 4.

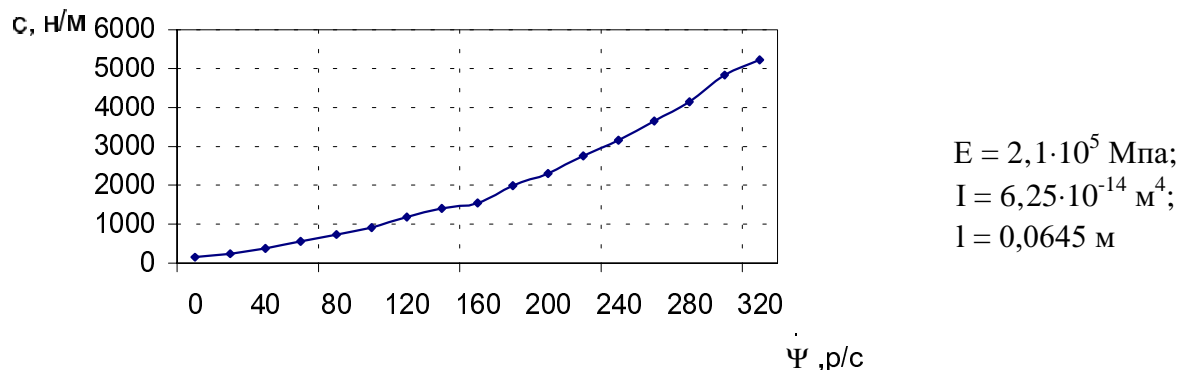


Рис. 2. Залежність жорсткості пружного кріплення бил від кутової швидкості обертання ротора машини

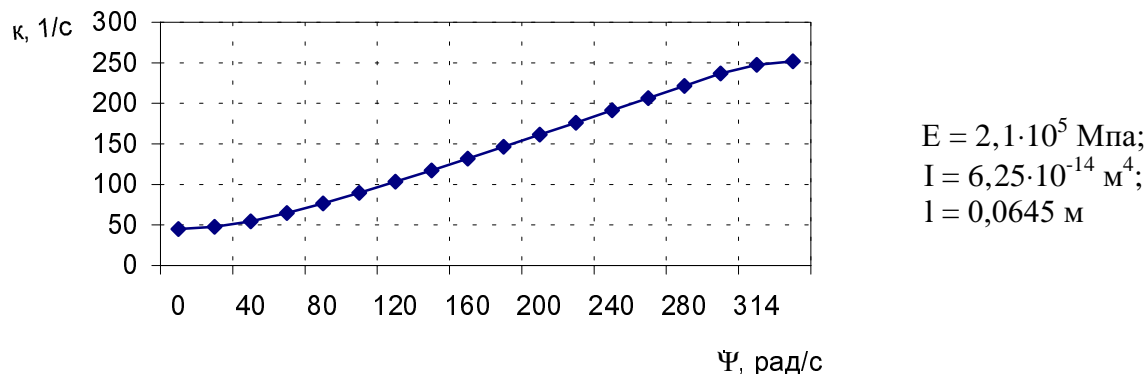


Рис. 3. Залежність частоти коливання бил від кутової швидкості обертання ротора машини

На основі аналізу результатів проведених досліджень встановлено, а саме:

1. Жорсткість пружного підвісу бил суттєво змінюється зі зміною швидкості обертання ротора машини (рис. 2). У випадку виконання наближених (оцінювальних) розрахунків допустимо використовувати залежність

$$c_m \approx n_{1c} m_m \cdot \dot{\psi}^2 + 3 \frac{E \cdot I}{l^3},$$

де $n_{1c} = 0,5 - 0,7$ коефіцієнт пропорційності.

2. Частота коливань бил суттєво змінюється під час розгону двигуна і залишається практично незмінною в процесі роботи (рис. 3). При оцінювальних розрахунках можна використовувати наближену формулу визначення частоти коливань бил

$$k = \sqrt{n_{1c} \cdot \dot{\psi}^2 + 3 \frac{E \cdot I}{m_m l^3}}.$$

3. З моменту появи матеріалу в подрібнювальній камері було починає коливатися, але значення s_i переміщуються в додатний бік. Це пов'язано з вибором додатного напрямку осі, вздовж якої рухається било. На рис. 4 показана зона положень бил під час розгону двигуна, засипки матеріалу і встановленого режиму роботи роторної машини.

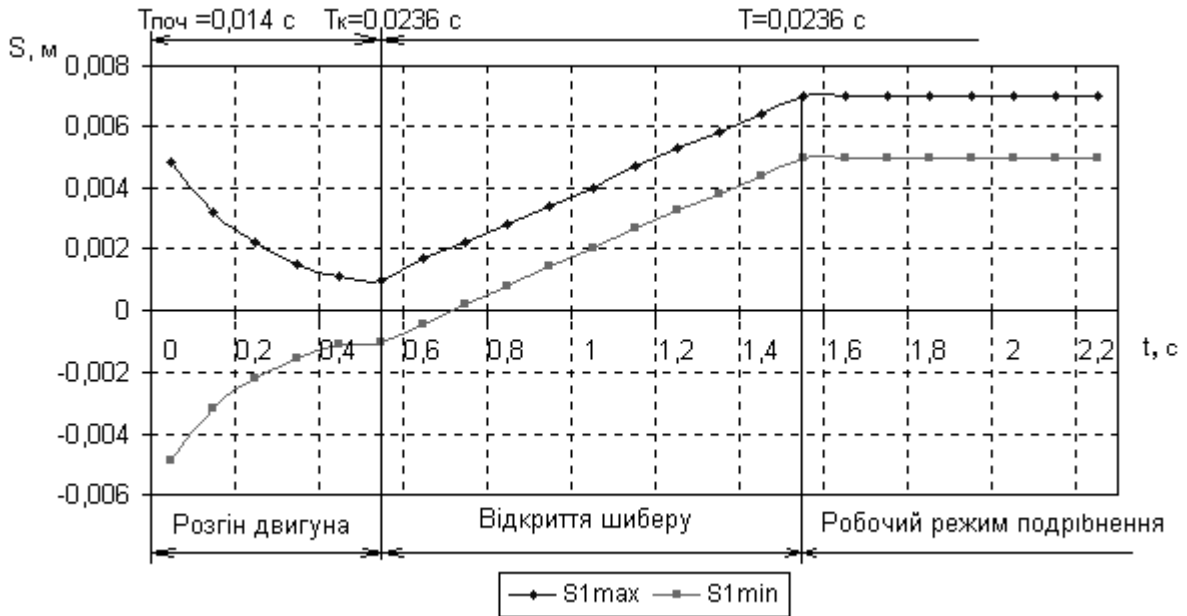


Рис. 4. Залежність переміщення правого ряду пружно закріплених бил від часу

4. Порівняно з молотковими дробарками, роторні з пружним кріпленням бил мають значно меншу незбалансованість робочого ротора, хоча одночасно значно менші амплітуди коливання бил порівняно з амплітудами коливань молотків.

5. Порівняно з роторною дробаркою з жорстким кріпленням бил (відома схема) пружне кріплення бил сприяє процесу подрібнення за рахунок їх коливання.

6. Недоліком математичної моделі роботи роторної подрібнювальної машини (2) є припущення про колову однорідність продуктово-повітряного шару, що приводить до затухань коливань бил з часом, хоча реально вони будуть продовжуватися.

Отже, проводячи дослідження роторної дробарки з пружним кріпленням бил за допомогою числового експерименту, можна оптимізувати значення її параметрів і порівняти їх з параметрами дробарок інших конструкцій.

1. Коруняк П.С., Семкович О.Д., Лозовий І.С. Розвиток засобів подрібнення матеріалу // Вісн. ДУ "Львівська політехніка". – 2001. – № 422. – С. 61 – 66. 2. Коруняк П.С., Боровець В.М. Підстави модернізації устаткування для ударного подрібнення зерна // Автоматизація виробничих процесів в машинобудуванні і приладобудуванні. Український міжвід. темат. наук.-техніч. зб. – Вип. 35. – Львів: ДУ "Львівська політехніка", 2000. – С. 69 – 72. 3. Коруняк П.С., Боровець В.М. Динаміка дробарки з пружним ротором // Вісн. ДУ "Львівська політехніка". – 2002. – № 442. – С. 94 – 96. 4. Семкович О., Коруняк П. Теорія і розрахунок впливу сили опору робочого середовища на рух молотка дробарки // Вісн. Львів. держ. аграрн. ун-ту: Агроінженерні дослідження. – Львів: Львів. держагроуніверситет, 2001. – № 5. – С. 166 – 170. 5. Кулаковський В.И., Кирпичников Ф.С., Резник Е.И. Машины и оборудование для приготовления кормов. – М.: Россельхозмашиздат, 1987. – 285 с.