

## РОЗРОБКА ТА ОБГРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНО-КІНЕМАТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ КУЛЬОКІЛЬЦЕВОГО ПОДРІБНЮВАЧА МАТЕРІАЛІВ

© Малащенко В.О., Коруняк П.С., 2005

**Запропоновано принципову схему кульокільцевого подрібнювача матеріалів. Досліджено рух робочих тіл з виведенням аналітичних залежностей між конструктивними і кінематичними параметрами подрібнювача.**

**A principle chart of bullet crusher of materials is offered with the circular working surface. Motion of working bodies is explored with inference of analytical to dependence between the structural and kinematics parameters of crusher**

**Постановка проблеми.** Подрібнення матеріалів широко використовується в різних технологічних процесах у багатьох галузях виробництва, в результаті чого збільшується поверхня фазового контакту взаємодіючих мас, що значно інтенсифікують такі процеси, як розчинення, хімічна взаємодія, горіння тощо. Це є один із важливих і дорогих технологічних процесів у виробництві будівельних матеріалів. Тому під час проектування нового обладнання і модернізації існуючого питанням зниження енерговитрат та зношування робочих поверхонь варто надавати більшого значення.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Сьогодні існують і успішно експлуатуються подрібнювачі різних конструкцій для подрібнення та помелу матеріалів середньої та малої твердості, де руйнування матеріалу відбувається роздавлюванням і протиранням. До таких засобів подрібнення відносять бігуни, роликові, кульокільцеві, роликамятникові та бісерні подрібнювачі, робочі тіла яких рухаються з частотою обертання від 25 до 120 об/хв та коловою швидкістю 3–10 м/с. У цих машинах процес руйнування матеріалу може відбуватися під дією сили ваги робочих елементів, навантаження від їх підпружинення та відцентрових сил інерції. Підвищення швидкості та частоти прикладення руйнуючих навантажень, завдяки явищу втоми, інтенсифікують процеси подрібнення [1, 2].

Особливу увагу привернули такі засоби подрібнення, як бігуни і кульокільцеві подрібнювачі, коли у перших можна одержати достатню робочу поверхню подрібнення, а інші – характерні збільшеною корисною площею рухомих елементів (куль) [3].

**Постановка завдання.** Враховуючи позитивні сторони існуючого обладнання, з метою підвищення ефективності робочого процесу подрібнення, розроблено принципову схему та встановлено взаємозв'язок між конструктивними та кінематичними параметрами запропонованого подрібнювача.

**Виклад основного матеріалу.** На рис. 1 показана принципова схема кульокільцевого подрібнювача, де робочими тілами є суцільні або пустотілі чавунні кулі 1 (діаметром до 750 мм), розміщені між рухомою конічною поверхнею 2 і нерухомим підпружиненим конічним кільцем 3 з завантажувальним пристроєм 4. Для покращання процесу подавання подрібнювального матеріалу до робочої зони рухома частина подрібнювача обладнана конічною поверхнею 5.

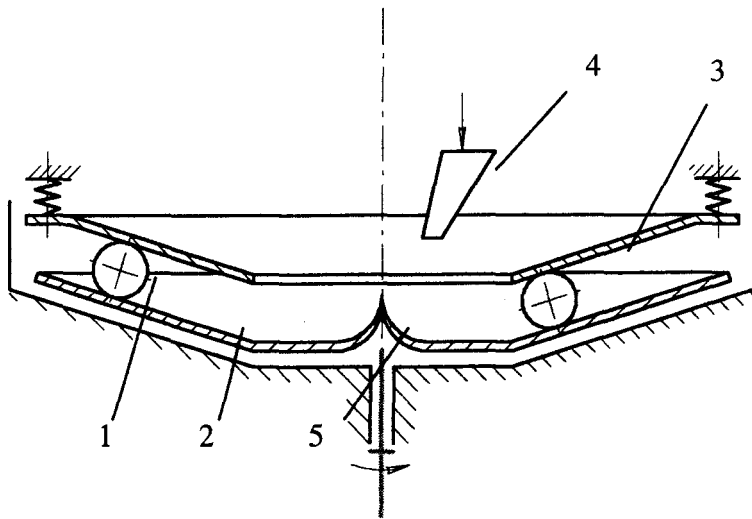


Рис. 1. Принципова схема кульокільцевого подрібнювача

Принцип роботи подрібнювача є очевидним із рис. 1, тобто через завантажувальний пристрій подрібнювальний матеріал надходить на рухому конічну поверхню, що обертається разом з кулями із змінною періодично кутною швидкістю. Під дією відцентрової сили інерції із зростанням кутвої швидкості куля відкочується від осі обертання та піднімається догори по конічній поверхні, а із зменшенням швидкості обертання, завдяки силі ваги, вона наближається до осі обертання та скочується вниз. Для певного режиму обертання точка дотику кулі до робочої поверхні рухається за траєкторією, наближеною до еліпса (рис. 2).

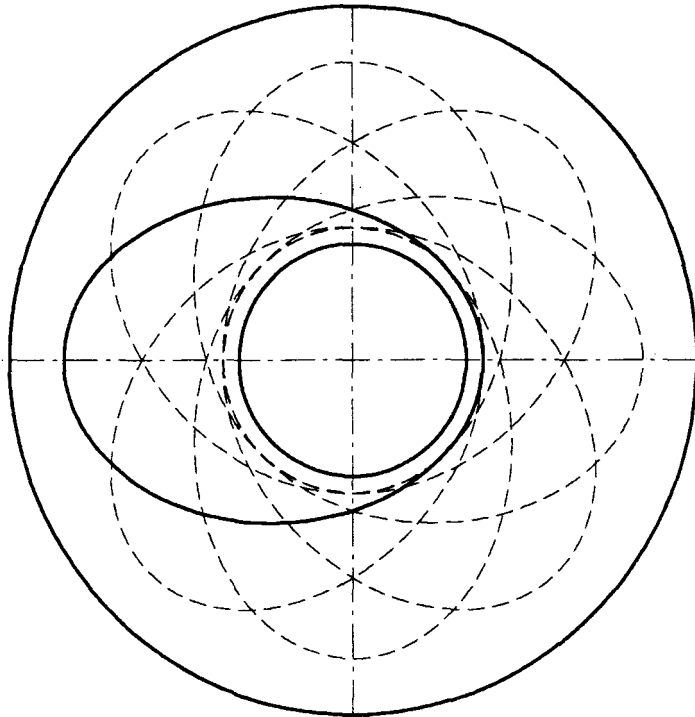


Рис. 2. Траєкторії руху робочих тіл

Зважаючи на те, що у подрібнювальному матеріалі можлива наявність твердих включень, які виступають за миттєві центри швидкості, кулі, крім вказаного руху по поверхні, можуть ще обертатись і проковзуватись відносно нього та навколо своєї осі, що сприяє процесу розтирання матеріалу. Оскільки у подрібнювача є декілька куль, то робочою поверхнею можна вважати

практично усю конічну поверхню кілець. Отже, в результаті такого руху куль та поверхні відбувається інтенсивніше перемішування та подрібнення матеріалу. Змінювання положення куль приводить до рівномірнішого тиску на поверхню та зменшення спрацювання робочих поверхонь.

Практично характер руху кулі доволі складний, точний опис якого часто неможливий, тому введемо деякі припущення і розглянемо спрощений варіант можливого руху. Для цього вважатимемо кулю за матеріальну точку, що рухається по похилій поверхні (рис. 3). Абсолютний рух кулі складається з його відносного руху по конічній поверхні та переносного руху разом з цією поверхнею у відношенні до нерухомої системи координат. Нехай у цей момент часу відносний рух є поступальним, а переносний – обертвовим, який характеризується кутом повороту  $\varphi = \omega \cdot t$ . З'ясуємо умови, за яких можливий рух кулі по похилій поверхні вгору. Без урахування сили опору матеріалу на кулю діють такі сили:  $\overline{P}$  – сила ваги;  $\overline{N}$  – нормальна реакція поверхні;  $\overline{F}_{тр}$  – сила тертя між кулею і поверхнею. Оскільки переносний рух є змінним, необхідно враховувати ще відцентрову силу  $\overline{F}_i$  і силу інерції  $m\ddot{x}$ .

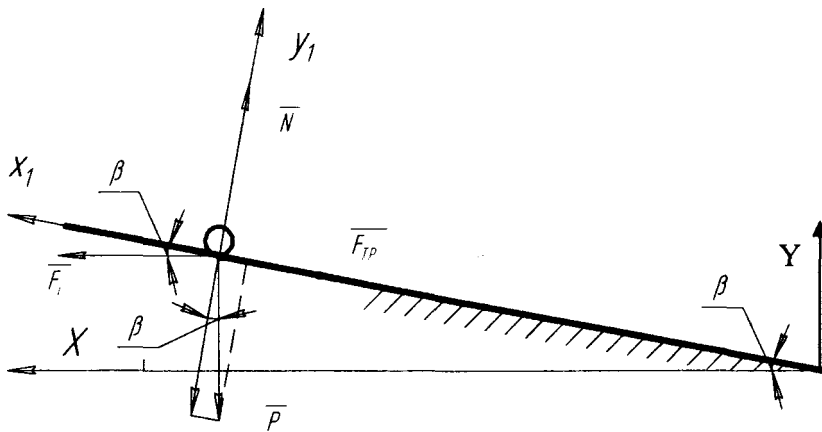


Рис. 3. Розрахункова схема

Запишемо диференціальне рівняння відносного руху кулі

$$m \ddot{x}_1 = F_i \cos \beta - P \sin \beta - F_{тр}, \quad (1)$$

де  $F_{тр} = Nf$  – сила тертя;  $f$  – коефіцієнт тертя;  $\beta$  – кут нахилу поверхні;  $m$  – маса кулі.

Для визначення нормальної реакції  $N$  складемо рівняння рівноваги кулі відносно осі  $y_1$ :

$$m \ddot{y}_1 = N - F_i \cdot \sin \beta - P \cdot \cos \beta. \quad (2)$$

Вважаючи, що куля рухається по поверхні без відриву ( $y_1 = 0$ ), запишемо

$$N = F_i \cdot \sin \beta + P \cdot \cos \beta. \quad (3)$$

З врахуванням (3) рівняння (1) матиме вигляд

$$m \ddot{x}_1 = F_i \cos \beta - P \sin \beta - f(P \cos \beta + F_i \sin \beta). \quad (4)$$

За початкові умови приймаємо такі, коли куля знаходиться у стані відносної рівноваги перед початком руху вгору по конічній поверхні:

$$\dot{x}_1 = 0 \quad i \quad \frac{\dot{x}_1}{dt} = \ddot{x}_1 = 0.$$

Тоді рівняння (1) набирає вигляду

$$F_i \cos \beta - P \sin \beta - f(P \cos \beta + F_i \sin \beta) = 0. \quad (5)$$

Враховуючи відомі залежності коефіцієнта тертя від кута тертя та зусиль від маси кулі, вираз (5) запишемо у вигляді

$$mr\omega^2 \cos \omega t \cos \beta \geq mg \sin \beta + (mg \cos \beta + mr\omega^2 \cos \omega t \sin \beta) g \rho \quad (6)$$

або після перетворень матимемо

$$r\omega^2 \cos \omega t \geq g \cdot \operatorname{tg}(\beta + \rho), \quad (7)$$

де  $r$  – радіус обертання;  $\omega$  – робоча кутова швидкість рухомої поверхні;  $t$  – час;  $\rho$  – кут тертя.

У рівнянні (7) ліва частина є величиною змінною, а права – сталою. За (7) очевидно, що рух кулі вгору по похилій поверхні можливий у тому разі, коли його ліва частина більша або дорівнює правій. Якщо значення лівої частини дорівнює  $r\omega^2$ , то мінімальна кутова швидкість, за якої куля починає рухатись вгору, визначається з виразу

$$\omega_{\min} = \sqrt{\frac{g \operatorname{tg}(\beta + \rho)}{r}}, \quad (8)$$

а за менших значень вона буде рухатись вниз.

Кількісний аналіз залежності мінімально необхідної кутової швидкості для початку руху кулі догори проведемо для випадку, коли  $\rho = 8^\circ$ ;  $\beta = 12^\circ, 20^\circ$  і  $30^\circ$  та  $r = d \dots 5d$  ( $d$  – діаметр кулі).

Отримані значення кутової швидкості зведено в таблицю, а функціональна її залежність для наочності показана на графіку (рис. 4).

#### Значення мінімальної кутової швидкості

Назва параметрів	Одиниці вимірювання	Значення параметрів				
		0,75	1,50	2,25	3,00	3,75
Радіус обертання	м	0,75	1,50	2,25	3,00	3,75
Кут нахилу поверхні	град	12				
Кутова швидкість	рад/с	2,20	1,55	1,27	1,10	0,98
Кут нахилу поверхні	град	20				
Кутова швидкість	рад/с	2,65	1,87	1,53	1,32	1,18
Кут нахилу поверхні	град	30				
Кутова швидкість	рад/с	3,23	2,28	1,86	1,61	1,44

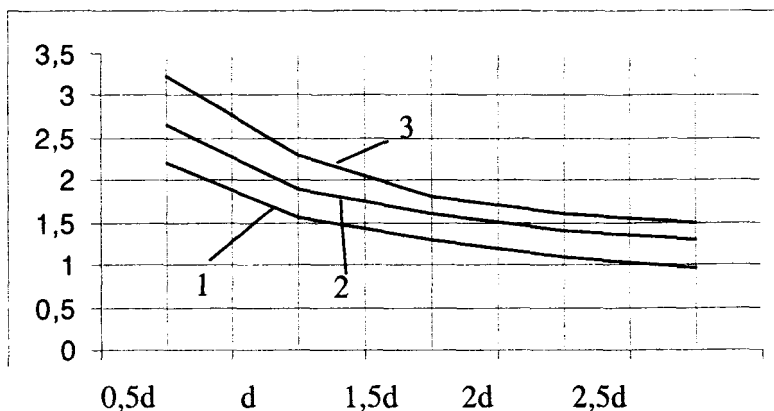


Рис. 4. Залежності мінімальної кутової швидкості від радіуса обертання кулі:

1 –  $\beta=12^\circ$ ; 2 –  $\beta=20^\circ$ ; 3 –  $\beta=30^\circ$

**Висновки.** Отже, використовуючи запропоновану схему подрібнювача, можна підвищити ефективність робочого процесу подрібнення за рахунок використання закономірностей складного

руху куль. Отримані аналітичні залежності уможливають проведення кількісного аналізу з метою вибору раціональних конструктивних, кінематичних параметрів подрібнювачів, що мають конічні робочі поверхні.

1. Силенок С.Г. *Механическое оборудование предприятий строительной индустрии*. – М.: Стройиздат, 1973. – 374 с. 2. *Конструкция и расчет машин химических производств* / Под. ред. Э.Э. Колиана-Иванова. – М.: Машиностроение, 1985. – 408 с. 3. Малащенко В.О., Малащенко В.В., Куновский Г.П., Кравець І.Є. Силова взаємодія елементів кільцевокульових млинів // *Вісн. Нац. ун-ту "Львівська політехніка"*. – 2004. – № 526. – С. 33–36.

УДК 517.9+534.111

А.М. Сліпчук

Національний університет "Львівська політехніка",  
кафедра теоретичної механіки

## ВПЛИВ ЗБУРЕНЬ У ТОЧКАХ ЗАКРІПЛЕННЯ НА КОЛИВАННЯ РУХОМОЇ ОДНОВИМІРНОЇ СИСТЕМИ

© Сліпчук А.М., 2005

**Отримано диференціальне рівняння, яке описує поперечні коливання в одновимірних нелінійно-пружних рухомих системах, при збурених крайових умовах. Використовуючи асимптотичний метод нелінійної механіки, аналітично досліджено вплив швидкості руху на її АЧХ.**

**Differential equalization which describes transversal vibrations in the one-measurable nonlinear-resilient mobile systems is got, at the revolted regional terms. Using the asymptotic method of nonlinear mechanics influencing of rate of movement is analytically explored on its АЧХ.**

**Актуальність проблеми.** Коливання, які зустрічаються в одновимірних системах, вивчені достатньою мірою для практичних цілей, якщо їх матеріал задовольняє лінійному або близькому до нього закону пружності [1, 2]. У різноманітних проблемах сучасної механіки пружних систем з'являється необхідність досліджувати динамічні процеси при збурених крайових умовах. Якщо ж до того такі системи рухаються з постійною чи змінною швидкостями вздовж своєї геометричної осі, то дослідження коливань таких систем, навіть для випадку лінійно-пружних властивостей матеріалу, пов'язано зі значними математичними труднощами. Такі задачі, без врахування збурень крайових умов, розглядалися у [3]. Проте в реально існуючих системах навіть збурення у закріпленнях того чи іншого виду може призвести до істотних як кінематичних, так і якісних змін у динамічних характеристиках процесу. Так, наприклад, поздовжній рух балки, кінці якої також можуть вібрувати, часто зустрічається на практиці [4]. Нижче, на прикладі поперечних коливань рухомої балки досліджується вплив на динаміку процесу:

- швидкості їх поздовжнього руху;
- нелінійно-пружних характеристик матеріалу балки;
- зовнішніх періодичних сил;
- малих збурюючих крайових умов.

В основу досліджень покладено принцип одночастотності коливань у нелінійних системах з багатьма ступенями вільності та розподіленими параметрами [5], асимптотичний метод побудови розв'язків деяких класів диференціальних рівнянь з частинними похідними [4].

**Постановка задачі.** Для реальних квазілінійних чи нелінійних коливних систем з розподіленими параметрами, коли не беруться до уваги збурення у крайових умовах, має зміст під час