

УДК 621.926.22

## Дослідження методів оптимізації процесу дроблення вібраційної шокової дробарки

Міщук Є.О., Назаренко І.І.

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ Україна

**Анотація:** Внаслідок постійного розвитку будівельної галузі виникає питання про створення нових або модернізації старих зразків техніки. Застосування ударного характеру дії дробильних щік на матеріал є найбільш перспективним напрямком розвитку дробильних машин. Метою роботи є дослідження робочого процесу моделі вібраційного шокової дробарки для створення нової енергоефективної конструкції. В роботі наведено результати теоретичних та експериментальних досліджень основних параметрів резонансної вібраційної шокової дробарки. Побудована фізична модель на основі якої складені рівняння руху дробарки, що включають три основні умови ефективною роботи. На основі рівнянь руху дробарки побудовано амплітудо-частотні характеристики роботи дробарки. Представлена модель дослідної вібраційної шокової дробарки. Дано рекомендації по вибору ефективних частотних режимів. Знання раціональних значень основних параметрів механічного режиму досліджуваної вібраційної шокової дробарки дає можливість в подальшому визначити оптимальні значення затрат електроенергії та продуктивності при дробленні матеріалів різної міцності.

**Ключові слова:** вібраційна шокова дробарка; резонанс; амплітуда; коефіцієнт пружності; степінь дроблення; енергоефективність, частота коливань, динаміка.

**Вступ.** Одним із основних напрямків дослідження машин для виробництва будівельних матеріалів є зниження енергозатрат. Вирішення проблеми, пов'язаної з визначенням затрат енергії, представляє доволі складну задачу, так як затрати енергії залежать від цілого ряду факторів, які змінюються в процесі роботи машини і важко піддаються точному описанню.

До основних параметрів механічного режиму вібраційної шокової дробарки відносяться маса, частота та амплітуда коливань, пружність, продуктивність, потужність та кут захвату. Правильний підбір параметрів, які забезпечуватимуть роботу дробарки в оптимальному режимі, дасть можливість зменшити енергозатрати на подрібнення.

**Аналіз досліджень.** Розвиток вібраційних технологій призвів до створення енергоефективних машин з трьома коливальними масами та поширенню електромагнітних і пневматичних вібраторів. В роботі [1] досліджується вібраційна ущільнювача машина з електромагнітним приводом. Машина складається з трьох коливальних мас та електромагнітного приводу. Всі три маси пов'язані між собою пружними системами. В таких системах при наближенні  $\eta$  (частка сумарної пружності на згин, що припадає на пружну систему) до 1 значно зростає амплітуда коливань.

В роботі [2] наведені дослідження вібраційної шокової дробарки з двома рухомими щоками. Основною метою досліджень є зниження енергоємності і підвищення продуктивності дроблення за рахунок відновлення номінального режиму роботи шляхом компенсації збуджень. Компенсація збуджень реалізується за допомогою автоматизованого електроприводу по контрольованому куту зміщення фаз коливання щік.

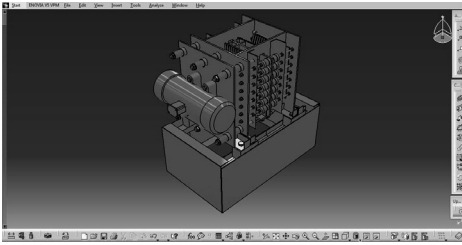
На основі досліджень в джерелі [3] зазначається, що збільшення початкового здвигу фаз приводить до зниження продуктивності дробарки, збільшенню енергоємності дроблення та нерівномірності навантаження двигунів. Усунення здвигу фаз синхронно-протифазного режиму виконується шляхом керування параметрами механічних характеристик двигунів  $\omega_0$  та  $\beta$  з умови вирівнювання парціальних швидкостей  $\Delta\omega_n = 0$  при якій кут зсуву фаз дорівнює нулю.

Модель вібраційно-ударної конусної дробарки досліджується в роботі [4]. Запропонована механічна модель з двома степенями вільності, яка враховує білінійний

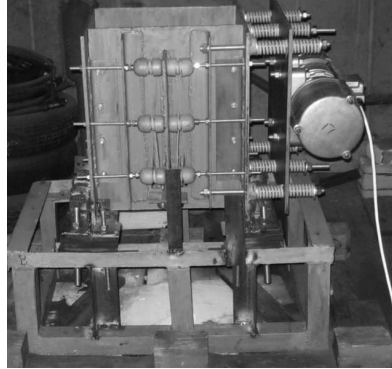
гістерезис в нелінійних рівняннях руху коливальних мас дробарки. Результати досліджень, що наведені на графіках показують незначне відхилення між аналітично розрахованими значеннями параметрів та числовими, що отримані з роботи оригінальної моделі дробарки.

**Мета роботи.** На основі теоретичних та експериментальних досліджень вібраційної щоквої дробарки двохсторонньої дії обґрунтувати методи оптимізації її робочого процесу.

**Викладення основного матеріалу:** Ефективність роботи досліджуваної вібродробарки забезпечується в резонансному режимі при синхронному налаштуванні руху першої і третьої маси і протифазному русі другої маси. Схема вібраційної щоквої дробарки представлена на рис. 1.



а



б

Рис.1 Вібраційна щоква дробарка  
а – 3d модель; б – лабораторна установка

Система рівняння руху мас дробарки за наявності матеріалу в камері дроблення мають наступний вигляд:

$$\begin{cases} m_1 \ddot{x}_1 + 2x_1 c_1 - x_2 c_1 = F_0 \sin \omega t; \\ (m_2 + km_m) \ddot{x}_2 + x_2 c_1 - x_1 c_1 + 2c_2 x_2 - 2c_2 x_3 + x_2 c_{on} = 0; \\ (m_3 + km_m) \ddot{x}_3 + 2c_2 x_3 - 2c_2 x_2 = 0; \\ F_{dp} \leq c_2 x_n; x_1 > 0; x_3 > 0; x_2 < 0; x_2 + x_3 = \xi * D_{max}. \end{cases} \quad (1)$$

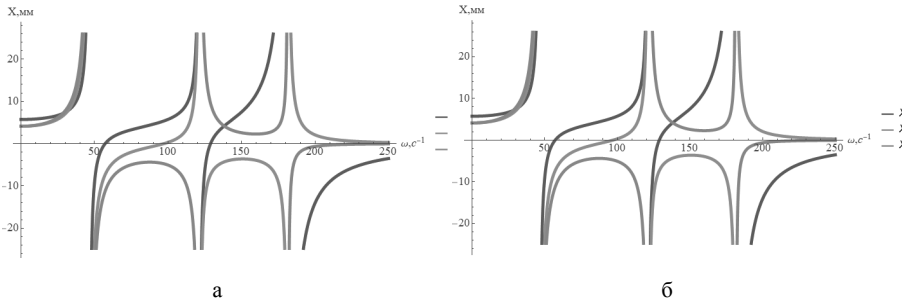
Пружність пружних зв'язків  $c_2$  та  $c_1$  була розрахована з умови резонансу приведених мас  $m_{23}$  та  $m_{12}$  відповідно, а жорсткість опорних пружин з умови віброізоляції.

В загальному вигляді пружність коливальної системи можна визначити з рівняння [5],[6], [7]:

$$c_{ij} = (\omega_0 n)^2 \frac{m_i m_j}{m_i + m_j}, \quad (2)$$

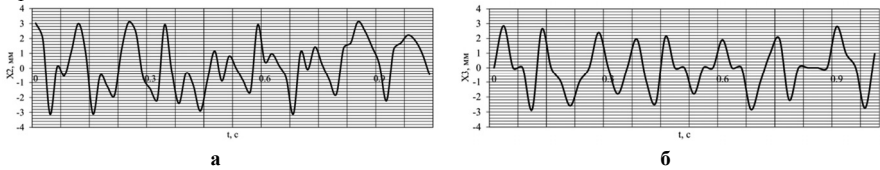
де  $\omega_0$  - власна кутова частота коливань (резонансна частота);  $n$  – коефіцієнт регулювання пружності по частоті.

Знаючи всі невідомі параметри рівнянь руху було побудовано графіки залежності амплітуди переміщення дробильних плит від частоти зміни збурювального зусилля рис.2.



**Рис.2. Амплітудо-частотні характеристики вібраційної шоківної дробарки при  $\omega_0 = 104.67$  рад/с:  
а) робота дробарки без матеріалу; б) робота дробарки з матеріалом**

Віброграми коливання другої та третьої маси дробарки за умови наявності матеріалу в камері дроблення представлені на рис.3. Для дроблення використовувався матеріал середньої та низької міцності.



**Рис.3 Віброграми коливань мас дробарки при роботі з матеріалом ( $\omega = 104,667$  рад/с,  $F=4111\text{Н}$ ,  $c_2=219052$  Н/м): а – переміщення другої маси; б – переміщення третьої маси**

**Висновки.** Проведені експериментальні дослідження засвідчили ефективність робочого процесу вібродробарки. Були обґрунтовані основні технологічні вимоги регулювання параметрами механічного режиму вібраційної шоківної дробарки. Розроблено алгоритм розрахунку та методика забезпечення заданих параметрів роботи тримасної вібраційної шоківної дробарки

### Research of methods optimization of the crushing process of the vibratory jaw crusher

Mishchuk Y.A., Nazarenko I.I.

**Abstract.** Due to the continuous development of the building-and-construction industry, it is necessary to design new or modify outmoded industrial equipment. Jaw crushers with the impact action of crushing plates on material being processed are perspective as crushing equipment. The purpose of this paper consists in studying the operational process of the vibratory jaw crusher in order to use the study results for designing new energy efficient crushers. Presented in this paper are the results of the theoretical and experimental studies of the basic parameters of a vibratory jaw crusher with two crushing chambers. The developed physical model of the crusher is used for setting up motion equations for the crusher elements. According to these equations, there are three basic conditions that should be fulfilled in order to ensure the efficient operation of the crusher. On the basis of the motion equations, the amplitude-frequency characteristics of the crusher are determined. A model of a vibrating jaw crusher are presented. Recommendations for choosing effective frequency modes are given. If the optimal frequency ranges for operation of the studied vibratory jaw crusher are known, it is possible to determine the optimal level of power consumed by the crusher in processing materials of different hardness.

**Keywords:** vibratory jaw crusher; resonance; amplitude; elasticity coefficient; granularity of crushed material; energy efficiency; frequency; dynamics.

## Исследование методов оптимизации процесса дробления вибрационной щековой дробилки

Мищук Е.А., Назаренко И.И.

**Аннотация.** Вследствие постоянного развития строительной отрасли возникает вопрос о создании новых или модернизации старых образцов техники. Применение ударного характера действия дробильных щек на материал является наиболее перспективным направлением развития дробильных машин. Целью работы является исследование рабочего процесса модели вибрационной щековой дробилки для создания новой энергоэффективной конструкции. В работе приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований основных параметров резонансной вибрационной щековой дробилки. Построена физическая модель на основе которой составлены уравнения движения дробилки, включающих три основных условия эффективной работы. На основе уравнений движения дробилки построены амплитудно-частотные характеристики работы дробилки. Представленная модель исследовательской вибрационной щековой дробилки. Даны рекомендации по выбору эффективных частотных режимов. Знание рациональных значений основных параметров механического режима исследуемой вибрационной щековой дробилки дает возможность в дальнейшем определить оптимальные значения затрат электроэнергии и производительности при дроблении материалов различной прочности.

**Ключевые слова:** вибрационная щековая дробилка; резонанс; коэффициент упругости; степень дробления; энергоэффективность; частота колебаний; динамика.

### Список літератури

1. Lanets O.S., Kochan T.I., & Lozynsky V.I. [2009]. Obg'runtuvannja efektyvnosti ta parametrychnyh osoblyvostej vysokoeffektyvnyh mizhrezonansnyh vibracijnyh mashyn z elektromagnitnym pryvodom [Justification of efficiency and parametric features of the high-performance of the vibrating machine with electromagnetic actuator which work between two resonance]. *Avtomatyzacija vyrobnych procesiv u mashynobuduvanni ta prykladobuduvanni – Automation of production processes in mechanical engineering and instrument making, Vol. 43, 17-32* [in Ukrainian].
2. Tyahushev S. Yu. [2007]. Vlijanie sistem upravlenija jelektroprivodom na samosinhronizaciju debalansnyh vibratorov [The influence of electric drive control systems on the self-synchronization of unbalanced vibrators]. *Zapiski Gornogo institute – Journal of mining institute, Vol. 173, 115-119* [in Russian].
3. Tyahushev S. Yu., & Shonin O.B. [2009]. Vlijanie rassoglasovanie podsystem vibracionnoj shhekovoj drobilki na rezhim raboty jelektroprivoda i pokazateli droblenija [Influence of the mismatch of the subsystems of the vibrating jaw crusher on the operation mode of the electric drive and the parameters of crushing]. *Obogashhenie rud – Ore dressing, Vol.5, 36 – 40* [in Russian].
4. Jiang J., Liu Sh., & Wen B. [2014] Dynamic characteristics of vibrating cone crusher with dual exciters considering material effects. *Trans Tech Publications*. doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.902.148.
5. Dedov O.P. Stvorennja rezonansnoi gidravlichnoi vibro-trambivki dlja ushhil'nennja gruntiv [Creation of hydraulic resonance vibration rammer for soil compaction] : Dis. kand.teh.nauk. / Dedov O.P. – Kiiv, 2009.
6. Revnivcev V.I., Zarogatskij L.P. i dr. Selektivnoe razrushenie mineralov [Selective destruction of minerals]. M.: Nedra. 1988.
7. Mishhuk E.O. Teoretichni doslidzhennja robochogo procesu vibracijnoi shhokovoї drobari [Theoretical studies of the working process of a vibrational chevron crusher]. *Zbirnik naukovih prac. Serija galuzeve mashinobuduvannja, budivnictv. – 2014. - №3 (42). – S. 72-80.*