

**ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ
ВІБРАЦІЙНОГО МЛИНА З ГІДРОПРИВОДОМ**

І. В. Коц

Розглянута нова принципова схема вертикального вібраційного млина із гідроприводом. Розроблена математична модель робочого процесу, що надає можливість провести аналіз всіх основних складових, які сприяють створенню такого робочого режиму, при якому буде прискорено помел сипучого матеріалу і поліпшена його якість.

Рассмотрена новая принципиальная схема вертикального вибрационного мельницы с гидроприводом. Разработана математическая модель рабочего процесса, что дает возможность провести анализ всех основных составляющих, которые способствуют созданию такого рабочего режима, при котором будет ускорено помол сыпучего материала и улучшена его качество.

Considered a new schematic diagram of the vertical vibration mill with hydraulic. The mathematical model of a workflow that provides an analysis of all major components that contribute to this operating mode, in which will be accelerated milling bulk material and improved its quality.

Актуальність роботи

У різних галузях промисловості, таких як, наприклад, будівельна, хімічна, гірнична, фармацевтична і харчова, важливу роль при виготовленні якісної продукції відіграють процеси подрібнення різних матеріалів. Тому створення нових конструкцій подрібнюючих агрегатів, які характеризуються достатнім рівнем економічності, надійності і якості вихідної продукції є актуальним завданням [1-3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Найбільше розповсюдження серед відомих способів вібраційного подрібнення сипучих матеріалів має спосіб подрібнення в кульових млинах із дебалансним елетромеханічним приводом. Відомі кульові вібротлини з дебалансним приводом, яким властивий ряд позитивних якостей, але вони мають також деякі технічні недоліки, основними з яких є: складнощі в зміні робочої частоти і амплітуди коливань, істотна залежність від технологічного завантаження [1-3].

Основним конструктивним вузлом, який визначає ефективність і надійність машин ударно-вібраційної дії є їх привід. Серед відомих видів приводів найбільше розповсюдження як привід для устаткування ударно-вібраційної дії, яке використовуються в гірничій та інших галузях промисловості, отримали механічні, пневматичні і гідравлічні. Детальне вивчення існуючих гідроприводів автоматичної циклічної дії, які використовуються для приводу машин ударної дії різного технологічного призначення, показало, що найбільш перспективними є гідроприводи, керовані спеціальним пристроєм – автоматичним гідророзподільовачем – клапаном-пульсатором [4-5]. Як відмічається у ряді публікацій такий гідравлічний привід наділений достатньо високою енергоємністю і значною швидкістю, дозволяє легко змінювати параметри робочих ходів в процесі вибору оптимальних технологічних режимів.

Постановка мети і завдань досліджень

Метою роботи є дослідження запропонованої конструкції вібраційного млина з гідроприводом для тонкого подрібнення гірничорудної сировини. Необхідно провести обґрунтування і вибір таких взаємозв'язків і співвідношень між її робочими характеристиками і параметрами гідроприводу, які забезпечуватимуть надійне функціонування устаткування і отримання якісної вихідної продукції при відносно невеликих енергетичних витратах.

Виклад основного матеріалу і результати досліджень

На рис. 1 показана принципова схема експериментального вертикального вібраційного млина з гідроприводом. Млин складається з вертикального корпусу помольної камери 1, яка підпружинена до основи за допомогою пружних елементів 6 і 7. Помольна камера 1 складається з

ряду секцій, розділених донними ситами 5. Для забезпечення направлених коливань корпусу помольної камери 1 призначені виконавчі плунжерні гідроциліндри-вібратори 8 і 9, що жорстко закріплені на основі, плунжери яких контактують з площинами опорних елементів, розташованими на корпусі помольної камери 1. Пристрій працює так. Матеріал, який підлягає подрібненню, через вхідний патрубок 15 з дозатором 18 подається в помольну камеру 1. Під дією змінного тиску рідини, яка поступає від насоса 11 до робочих камер виконавчих плунжерних гідроциліндрів-вібраторів 8 і 9 відбуваються вертикальні зворотно-поступальні переміщення корпусу помольної камери 1 і розміщеного в ній технологічного навантаження – помольних тіл і подрібнюваного сипучого матеріалу 4. Змінний тиск в гідросистемі створюється гідравлічним генератором коливань тиску робочої рідини 13. В результаті періодичних коливань технологічне навантаження під час кожного ходу помольної камери 1 вгору підкидатиметься і відриватиметься від неї, а потім здійснюватиметься вільне падіння, а в кінці його відбуватиметься силова ударна взаємодія між помольними тілами (кулями) і подрібнюваним сипучим матеріалом.

Таким чином, в результаті зворотно-поступальних переміщень, що періодично повторюються, і розпушувань від взаємодії помольних тіл і сипучого подрібнюваного матеріалу відбуватиметься його перемішування і наростаюче подрібнення до заданої величини розмірів вихідної продукції, розвантаження якої проводитиметься в приймальний бункер 2.

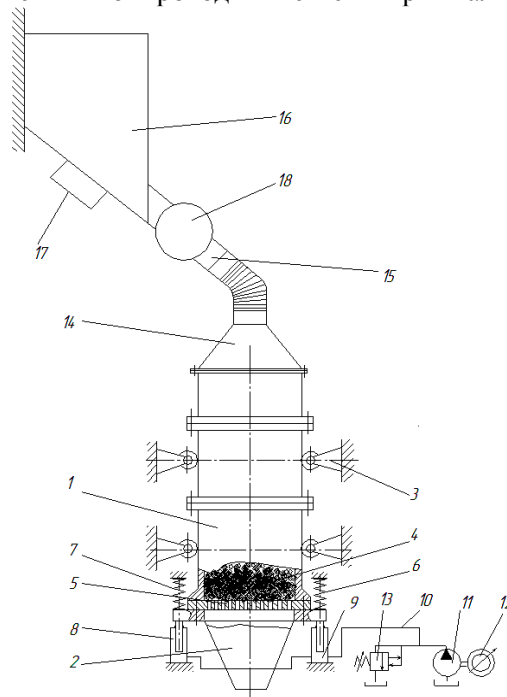


Рис. 1. Конструктивна схема експериментального вертикального вібраційного млина із гідроприводом

Для опису динаміки робочого процесу прийемо наступні припущення: масу технологічного навантаження – помольних тіл і подрібнюваного матеріалу умовно приймаємо зосередженою, розмірами і формою її частинок нехтуємо [1, 5]; робоча рідина в приводній гідросистемі вважається такою, що стискається, причому коефіцієнт її стисливості при тиску 0,3 МПа має середньоінтегральне значення β_{cp} , а при тиску понад 3,0 МПа – постійне значення β [6]; спрацьовування генератора коливань тиску робочої рідини відбувається релейно; тиск в зливній магістралі і продуктивність насоса 11 приймаються постійними.

Перший етап робочого циклу – зростання тиску робочої рідини в гідросистемі від $p_{зл}$ до $p_1 \geq (P_{II} + R_{mp}) / F_{nl}$, при якому починається рух робочих органів виконавчих плунжерних гідроциліндрів-вібраторів 6:

$$Q_H = \frac{dp}{dt} W_{\Gamma} \beta_{cp} + \varphi_{ym} p. \quad (1)$$

Другий етап – сумісний хід вгору корпусу помольної камери 1 і технологічного

навантаження – помольних тіл і сипучого подрібнюваного матеріалу, розташованого в ній, за початкових умов:

$$t = t_1, z = z_i = 0, \frac{dz}{dt} = 0.$$

$$\begin{cases} M_C \frac{d^2 z}{dt^2} = pF_{nl} - c(z + z_n) - \alpha_{mp} \frac{dz}{dt} - R_{mp} \text{sign}\left(\frac{dz}{dt}\right) - M_C g + P_{B1}, \\ Q_n = \frac{dp}{dt} (W_\Gamma + F_{nl} z) \beta + F_{nl} \frac{dz}{dt} + \varphi_{em} p. \end{cases} \quad (2)$$

Третій етап – хід помольної камери вниз і вільне падіння сипучого матеріалу, за початкових умов:

$$t = t_2, z_1 = z_k, \frac{dz_1}{dt} = 0, z_2 = z_k,$$

$$\begin{cases} M_K \frac{d^2 z_1}{dt^2} = c[(z_n + z_k) - z] - \alpha_{mp} \frac{dz}{dt} - R_{mp} \text{sign}\left(\frac{dz}{dt}\right) + M_K g, \\ \mu f_{ca} \sqrt{\frac{2g}{\gamma}} \sqrt{p - p_{за}} + \varphi_{ym} p = Q_n + \frac{dp}{dt} [W_\Gamma + F_{nl} (z_k - z_1) \beta] + F_{nl} \frac{dz_1}{dt}, \\ M_T \frac{d^2 z_2}{dt^2} = M_T g. \end{cases} \quad (3)$$

В рівняннях (1–3) прийняті такі умовні позначення:

Q_n – продуктивність насоса 11;

p, t – поточний тиск і час;

W_n – сумарний об'єм робочих порожнин, що включає порожнину генератора коливань тиску робочої рідини 5, порожнини приводної гідросистеми і гідроциліндрів 8 і 9;

β_{cp} – середньоінтегральне значення коефіцієнта стисливості рідини в інтервалі тиску від $p_{за}$ до p_1 ;

M_C – сумарна маса (яка додається: $M_C = M_K + M_T$, де M_K – маса помольної камери 1;

M_T – зосереджена маса технологічного навантаження);

z, z_1 – відповідно, поточне переміщення при спільному русі плунжерів гідроциліндрів-вібраторів 8, 9 і помольної камери 1 під час першого і другого етапів;

z_2 – переміщення сипучого матеріалу;

z_n, z_k – початкове і кінцеве положення помольної камери 1;

F_{nl} – ефективна робоча площа поперечного перерізу плунжерів гідроциліндрів-вібраторів 8 і 9;

g – прискорення вільного падіння;

c – жорсткість пружних елементів 6 і 7;

R_{mp} – сила сухого тертя, що прийнята постійною [5, 6];

α_{mp} – постійний коефіцієнт в'язкого тертя; μ – коефіцієнт витрат робочої рідини;

$f_{за}$ – площа прохідного перерізу зливної гідролінії;

φ_{em} – коефіцієнт внутрішніх втрат в гідросистемі; γ – питома вага робочої рідини.

Проведено випробування вібромлина з гідроприводом. Технологічне навантаження млина – помольних тіл (сталеві кулі діаметром 32, 40 мм) і подрібнюваного матеріалу – мармуру (фракція 5 мм + 2,5 мм), що відсіяний з продуктів дроблення. Завантажена порція подрібнюваного матеріалу складала 5-10 кг. Середня продуктивність вібромлина складала 60 кг/год. В процесі випробувань амплітуда коливань помольної камери забезпечувалася в межах від 4 до

16 мм, частота коливань помольної камери плавно змінювалася від 10 до 75 Гц. Вихід кондиційного за крупністю продукту ($-0,3$ мм) при розвантаженні вібромліна у відкритому циклі знаходилася в межах 30,2...64,0 %. Найбільш інтенсивний режим подрібнення спостерігався при амплітудах коливань порядку 8...9 мм і частоті коливань 42 Гц.

З метою перевірки результатів математичного моделювання, за допомогою системи сенсорів комп'ютерного вимірювального комплексу, фіксувалися такі параметри: зміна поточного тиску в робочих порожнинах плунжерних гідроциліндрів-вібраторів $p(t)$; переміщення помольної камери $s(t)$; частота коливань f ; періоди роздільного і сумісного руху помольних помольних куль і подрібнюваного матеріалу з помельною камерою; напруження, що виникають в донних ситах.

Отримані практичні результати підтвердили попередні аналогічні висновки експериментальних досліджень, що проведені нами для вібротранспортуючих технологічних машин з подібним гідроприводом [4, 5]. Встановлено важливість узгодження тривалості ходу вниз помольної камери $t_{н.х.}$ і тривалості вільного падіння технологічного навантаження – помольних тіл і подрібнюваного матеріалу $t_{с.п.}$. Для ефективного подрібнення необхідно виконувати умову $t_{н.х.} \approx t_{с.п.}$. Якщо $t_{н.х.} > t_{с.п.}$, то зменшуватиметься величина кожного елементарного переміщення технологічного навантаження, що приводить до зменшення кінетичної енергії падаючих помельних тіл, здійснюючих ударне подрібнення сипучого матеріалу, що знаходиться в помельній камері. При $t_{н.х.} < t_{с.п.}$, зменшуватиметься частота коливань помольної камери, внаслідок гасіння швидкості помельної камери при ході її вгору від зустрічного зіткнення вільно падаючих помельних тіл і подрібнюваного матеріалу об донні сита. Аналіз осцилограм зміни поточного тиску $p(t)$ показав, що необхідно проводити налаштування тиску спрацьовування клапана-пульсатора так, щоб воно не відбувалося передчасно до завершення заданого переміщення помельної камери спільно з технологічним навантаженням при ході вгору. Для підвищення швидкості зворотного ходу необхідно також істотно зменшити величину підпору тиску $p_{зп}$ в зливній магістралі.

Висновки

- Запропонована математична модель динаміки робочого процесу нової конструкції вертикального вібраційного млина з гідроприводом, а також здійснена експериментальна перевірка роботоздатності запропонованої установки.
- Використання результатів проведених теоретичних досліджень і практичних випробувань надасть розробникам подібних вібромлинів з гідроприводом можливість визначати їх оптимальні конструктивні і приводні параметри, характеристики робочих режимів, правильний вибір яких сприятиме поліпшенню якості вихідної продукції, підвищить економічність і інтенсивність процесу подрібнення.

Використана література

1. Вибрации в технике : Справочник. В 6-ти томах / Ред. совет: В. Н. Челомей (пред.). – М.: Машиностроение, 1981. – Том 4. Вибрационные процессы и машины. Под ред: Э. Э. Лавендела. – 1981. – 509 с.
2. Черный Л. М.. Математическое моделирование вибрационной мельницы, работающей в замкнутом цикле / Л. М. Черный. – В кн.: Механика горных машин. – Киев: Наукова думка, 1980. – С. 101-108.
3. Франчук В. П.. Исследование влияния технологической нагрузки на динамику вибрационных машин / В. П. Франчук, А. В. Анциферов, А. И. Егурнов // Науч.– техн. сб.: Обогащение руд.– 2001. – № 1. – С. 27-31.
4. Коц И. В.. Математическое моделирование рабочего процесса виброгрохота с импульсным гидроприводом / И. В. Коц // Вестник Национального технического университета «Харьковский политехнический институт». Сб. научных трудов. Тематический выпуск: Химия, химическая технология и экология. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2006. – № 30. – С. 8-15.
5. Иванов М. Е. Гидропривод сваепогружающих и грунтоуплотняющих машин / М. Е. Иванов, И. Б. Матвеев, Р. Д. Искович-Лотоцкий, В. А. Пишенин, И. В. Коц. – М.: Машиностроение, 1977. – 174 с.

Коц Иван Васильович – к.т.н., доцент кафедри теплогазопостачання Вінницького національного технічного університету.