

УДК 622.232

АДАПТИВНІ ВИКОНАВЧІ ОРГАНИ МАШИН МУЛЬТИПЛІКАТОРНОЇ ДІЇ

*Шевчук С.П., д.т.н., проф., Сліденко В.М., к.т.н., доц., Замараєва О.В., магістрант
Національний технічний університет України "КПІ"*

03056, м. Київ, пр-т Перемоги, 37

E-mail: kw_sliden@ukrpost.ua

Рассмотрена проблема адаптации исполнительных органов ударного действия с помощью мультипликатора давления для механизма подачи гидромолота. Приведенные зависимости, определяющие условия функционирования устройства подачи, приведена систематизация устройств подачи ударных исполнительных органов горных машин.

Ключевые слова: адаптация, исполнительные органы, мультипликатор, машина.

The paper presents the problem of shock-action executive elements adaptation with the hydraulic pressure booster for the hydraulic hammer feeding mechanism. The dependences which determine rational operation of the feeding device, systematization of feeding devices of shock executive elements of mining machines are conducted.

Key words: adaptation, executive elements, hydraulic pressure booster, machine.

Вступ. Проблема впровадження енергоощадних імпульсних технологій для гірничого машинобудування пов'язана з реалізацією максимальної адаптації машини до умов робочого середовища. Одним із напрямків в розв'язанні цієї проблеми є впровадження змінних виконавчих органів – гідромолотів, встановлених на екскаватор, стріловий робочий орган прохідницького комбайна або щита. Важливою складовою функціонування гідромолота є його позиціонування та раціональна подача на вибій.

Аналіз попередніх досліджень. Проблему раціональної подачі розв'язують багатьма способами, основні з яких: гравітаційний, статичний з допомогою гідроциліндра подачі при телескопічному висуванні гідромолота [1]. Проте, враховуючи коливальний характер дії гідромолота, статична подача не забезпечує адекватних умов підтискування інструмента гідромолота в момент передачі енергії гірському масиву [2].

Мета роботи – адаптація виконавчого органа машини за допомогою імпульсно-хвильового пристрою подачі – гідравлічного мультиплікатора тиску.

Матеріал і результати дослідження. Розглянемо узагальнену систему “маніпулятор – адаптивний гідромолот – робоче середовище”, де під маніпулятором розуміється базова машина – гідравлічний екскаватор чи прохідницький комбайн з стріловим робочим обладнанням, на якому монтується гідромолот. Робоче середовище формується у відповідності до технології, наприклад, для екскаватора при розпушуванні мерзлих ґрунтів чи дробленні негабаритів, а для прохідницького комбайна – при руйнуванні породи у вибої. Цикл роботи такої системи характеризується основними фазами: позиціонування і

ударної взаємодії. В фазі позиціонування інструмент гідромолота наводиться на об'єкт і маніпулятором генерується сила подачі, за якою втрати енергії в фазі ударної взаємодії повинні бути мінімальними.

Для забезпечення енергоощадного режиму роботи і зниження динамічних навантажень, які викликаються кутовим переміщенням маніпулятора відносно ребра його можливого перекидання, між маніпулятором 1 і гідромолотом 2 вводиться силова ланка 3 з гідроциліндром 4, який переміщує гідромолот 2 по направляючому вздовж його осі (рис. 1).

Для генерації необхідного підтискування гідромолота, площа поршня гідроциліндра подачі 4 і тиск в його порожнині обмежується умовами, за якими кутові коливання, що пов'язані з вивішуванням маніпулятора, не допускаються. Для забезпечення необхідної швидкості переміщення гідромолота, у випадку раптового заглиблення інструмента в породу на величину h_i , передбачене збільшення витрати рідини використанням мультиплікатора 5, який має камеру 6, наповнену газом, і який підмакується до магістралі нагнітання. У випадку використання такого пристрою, під будь-яким кутом розташування гідромолота забезпечується постійне зусилля подачі, а енергія реакції віддачі, яка направлена в бік, протилежний від вибою, поглинається мультиплікатором 5 через переміщення його поршня і збільшення тиску в газовій камері 6. Накопичена енергія надалі повертається для стабілізації підтискування гідромолота.

Розглянемо рух гідромолота, під дією адаптивного механізму подачі, як рух одномасової системи. Зведена, в динамічному відношенні, маса m_{zw} рухомих частин до корпусу гідромолота переміщується за напрямом x (рис. 1). З врахуванням суттєвих

факторів, її рух адекватно відображає рух корпусу гідромолота і описується рівнянням:

$$m_{zw} \ddot{x} = m_{zw} g \sin(\varphi_m) + S_c p_1(x, t), \quad (1)$$

де φ_m - кут нахилу гідромолота до горизонту; S_c - площа штокової частини гідроциліндра подачі $S_c = \pi \cdot (d_n^2 - d_{st}^2) / 4$; d_n, d_{st} - відповідно діаметри поршня і штока гідроциліндра; g - прискорення вільного падіння. Тиск p_1 в гідромагістралі пов'язаний з тиском в газовій камері 6 мультиплікатора 5 співвідношенням $p_1 = k_m \cdot p_2$, де k_m - коефіцієнт мультиплікації тиску, який визначається співвідношенням $k_m = D^2 / d^2$. Тоді рівняння (1) буде мати вигляд:

$$m_{zw} \ddot{x} = m_{zw} g \sin(\varphi_m) + S_c p_2(x, t) k_m \quad (2)$$

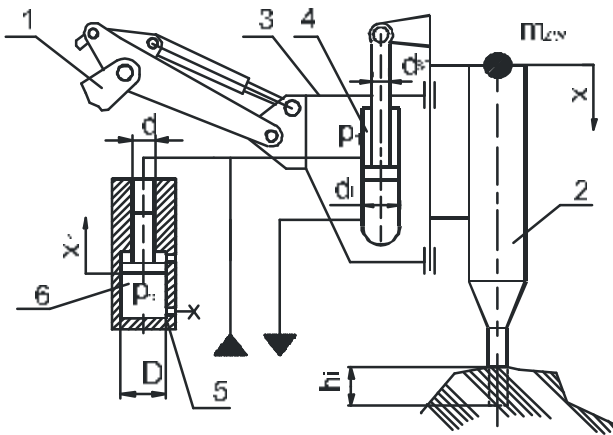


Рисунок 1 – Розрахункова схема енергоощадного механізму подачі

З урахуванням політропічного процесу стиснення – розширення газу в камері 6 мультиплікатора

$$p_2(x, t) = p_0 \left[\frac{V_0}{V_0 + S_a \cdot x \cdot k_b} \right]^n, \quad (3)$$

де n - показник політропи ($n = 1, 3, \dots, 1, 5$), V_0 - початковий об'єм камери мультиплікатора, p_0 - початковий тиск зарядки ($p_0 = 5 \dots 10$ МПа); $S_a = \pi \cdot D^2 / 4$ - площа торцевої частини поршня мультиплікатора; k_b - коефіцієнт мультиплікації витрат, $k_b = S_c / S_n$; $S_n = \pi \cdot d^2 / 4$; - площа торцевої частини штока мультиплікатора. З урахуванням (3) рівняння (2) прийме вигляд:

$$\ddot{x} = M + \frac{N}{(V_0 + S_a \cdot x \cdot k_b)^n}, \quad (4)$$

де $M = g \cdot \sin \varphi_m$, $N = \frac{S_a \cdot p_0 \cdot V_0^n}{m_{zo}}$.

Диференціальне рівняння (4) нелінійне і точного розв'язку немає. Ввівши заміну:

$$\frac{d^2x}{dt^2} = \frac{dx'}{dt} = \frac{dy}{dt},$$

отримаємо з (4) рівняння з роздільними змінними відносно фазових координат x' та x :

$$x' dx = M dx + \frac{N dx}{(V_0 + S_a \cdot x \cdot k_b)^n}. \quad (5)$$

Інтегруванням (5) з урахуванням початкових умов: при $x = 0$; $x' = 0$ із введенням значень M і N отримаємо:

$$x' = \left\{ 2 \cdot g \cdot x \cdot \sin \varphi_m + \frac{2 \cdot p_0 \cdot V_0^n}{k_b \cdot m_{zw} \cdot (1-n)} \times \left[\frac{1}{V_0^{n-1}} - \frac{1}{(V_0 - S_a \cdot x \cdot k_b)^{n-1}} \right] \right\} \quad (6)$$

Кутова швидкість φ' руху гідромолота, разом з маніпулятором, визначається за умовою раптового руйнування масиву, внаслідок чого зникає опора під інструментом і маніпулятор обертається навколо ребра перекидання. При цьому лінійна швидкість корпусу гідромолота буде $v = \varphi' R$, де R - координата його установки.

Умовою ефективності спрацювання пристрою подачі буде відповідність $x' \geq v$. За виконання цієї умови маніпулятор рухатись не буде, а буде, під дією мультиплікатора, рухатись поступально тільки гідромолот, і буде відсутня відповідна реакція віддачі. При $x' < v$, система подачі буде мало ефективною, оскільки можливе переміщення всього маніпулятора з наступним погашенням його кінетичної енергії через деформацію опор та обладнання, тобто через реакцію віддачі.

Перспективним напрямом інтенсифікації та адаптації гірничих машин до умов робочого середовища є застосування мультиплікаторів для гідроциліндрів приводу різноманітних виконавчих органів.

В НТУУ "КПІ" проведені аналітичні та експериментальні дослідження мультиплікаторів тиску не тільки в якості пристроїв подачі, але і в якості підсилювачів тиску гідравлічних циліндрів гідрофікованих гірничих машин. Такий мультиплікатор механічно може встановлюватись безпосередньо над гідравлічним циліндром (рис. 2), мати гідравлічний зв'язок з блоком керування гідроприводом машини і гідравлічно встановлюватись між насосом і гідроциліндром приводу виконавчого органа.

Мультиплікатор дозволяє підвищити тиск, тільки в поршневій порожнині гідроциліндра приводу, вище рівня номінального тиску гідронасоса. Це значно підвищує ефективність машини особливо при руйнуванні міцних ґрунтів або гірських порід.

Співвідношення геометричних параметрів пристрою і гідроциліндра показано на рис. 2 для робочого обладнання гідравлічного екскаватора ЕО-4321 виробництва ВАТ "Атек" (м. Київ).

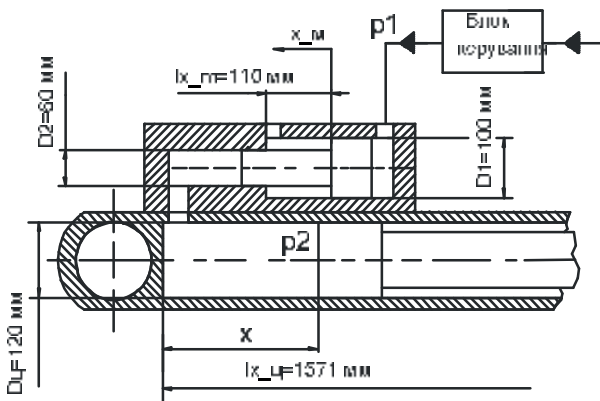


Рисунок 2 – Параметрична схема мультиплікаторного приводу

Виходячи з цих значень, геометричний коефіцієнт мультиплікації визначається співвідношенням:

$$k_r = \frac{p_2}{p_1} = \frac{D_1^2}{D_2^2}, \quad (7)$$

де D_1, D_2 – відповідно діаметри поршня і штока мультиплікатора, $p_1=25$ МПа, p_2 – відповідно тиск в лінії нагнітання маніпулятора і тиск мультиплікації в поршневій порожнині гідроциліндра приводу виконавчого органа.

Але проблема полягає в тому, що достатньо великий геометричний коефіцієнт мультиплікації $k_r=2,77$ та відповідне підвищення тиску $p_2=k_r \cdot p_1=69,25$ МПа реалізується не на повному ході штока гідроциліндра. Це пов'язано з відомою закономірністю стиснення реальної рідини: підвищення тиску в гідравлічній камері прямо пропорційно об'єму рідини, яка вливається і обернено пропорційно об'єму камери в яку вливається рідина. По відношенню до мультиплікатора така закономірність буде:

$$P_{2p} = \frac{E_p \cdot D_2^2 \cdot l_{x_m}}{D_{ц}^2 \cdot x}, \quad (8)$$

де P_{2p} – реальне підвищення тиску, E_p – модуль пружності Юнга (для мінерального масла прийнято $E_p=1750$ МПа). l_{x_m} – повний хід штока мультиплікатора, $D_{ц}$ – діаметр поршня гідроциліндра приводу виконавчого органа.

Результати розрахунків з врахуванням геометричних параметрів, та формул (7) і (8) обладнання на прикладі маніпулятора гідравлічного екскаватора ЕО-4321 відображені на графіках (рис. 3).

Підвищення тиску від мультиплікації буде $p_2=k_r \cdot p_1 = 2,77 \cdot 25 = 69,25$ МПа .

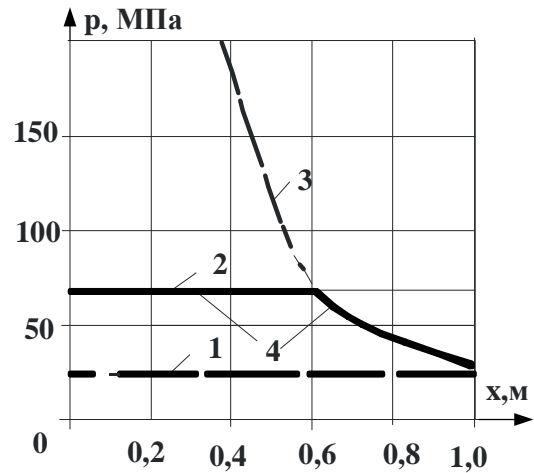


Рисунок 3 – Графіки залежності тиску в мультиплікаторному приводі:

- 1 – тиск від гідравлічного насоса перед мультиплікацією;
- 2 – тиск за геометричною мультиплікацією;
- 3 – тиск мультиплікації від стиснення рідини;
- 4 – реальні значення тиску за обвідною кривою

Висновки. Розроблений адаптивний виконавчий орган мультиплікаторної дії спроможний значно підвищити продуктивність гірничих машин. Мультиплікація тиску, яка відображається обвідною кривою (рис. 3), практично реалізується на всьому діапазоні висування штока гідроциліндра приводу виконавчого органа, що значно посилює його силову спроможність для випадку активного підтискування інструмента гідромолота чи необхідності руйнування міцної гірської породи при стопорінні ковша екскаватора.

Впровадження імпульсного пристрою мультиплікаторної дії ефективно в гірничому та будівельному машинобудуванні, а також в нафтогазовій галузі для створення високих тисків при проведенні гідророзриву пластів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Сліденко В.М., Дмитревич Ю.И. Воздействие гидромолота СП-70 на базовую конструкцию экскаватора ЭО-4321 // Сб.науч. тр./ ВНИИстройдормаш. -1982. - Вып.94. - С. 25-30.
2. Сліденко В.М., Шевчук С.П. Енергоощадний механізм подачі гідромолота адаптивного маніпулятора // Вісник Держ. Університету “Львівська політехніка” Спеціальний випуск. Львів, 1998. - С. 184 -188.
3. Шевчук С.П., Сліденко В.М., Лістовщик Л.К. Пристрій для розробки міцного ґрунту або гірських порід. Декларативний патент на корисну модель. № 13788 . Бюл. № 4, 17.04. 2006 р.

Стаття надійшла до друку 14.04.2008р.