

**І. В. Ночніченко, к.т.н., старший викладач,
Д. В. Костюк, ас.**

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ДО ПИТАННЯ ПОБУДОВИ ДЕМПФЕРА ПРОТЕЗУ НОГИ НА ОСНОВІ МАГНІТОРЕОЛОГІЧНОЇ РІДИНИ

Одним з методів забезпечення заданої швидкості руху ланок механізмів може бути застосування гідравлічних демпферів. Задані характеристики руху забезпечуються за рахунок дисипації енергії рідини при її проходженні через калібровані дросельні отвори. При цьому відбувається її перетворення на теплову енергію з подальшим розсіюванням в навколишнє середовище.

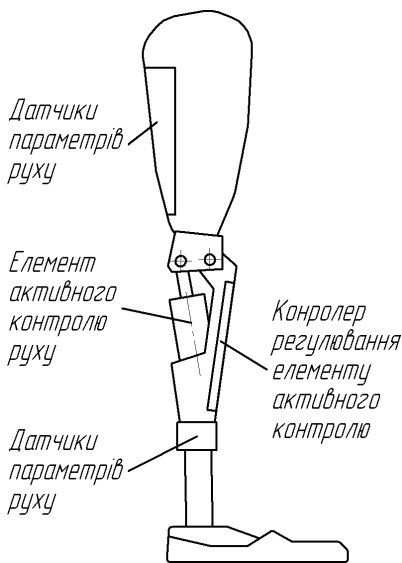


Рисунок 1 – Схема протезу ноги з демпфером

Як відомо, на ступінь дисипації енергії впливають розміри прохідних перерізів каналів, реологічні характеристики рідини, та швидкість її руху. Таким чином існує вплив температури навколишнього середовища, та нагріву рідини в процесі роботи на характеристики демпфера. Для забезпечення стабільності характеристики необхідне застосування рідин, реологічні характеристики яких мало змінюються в залежності від температури, засобів тепловідведення та гідравлічної апаратури яка змінює опір потоку рідини в каналі.

Крім того існує необхідність в здатності демпферів змінювати свої характеристики за заданим законом або в залежності від зовнішніх умов.

Дані вимоги можна забезпечити використанням в демпфері магнітореологічних рідин, що здатні змінювати свої характеристики під впливом прикладеного магнітного поля. При їх застосуванні виникає можливість створення системи регулювання без застосування рухомих елементів для зміни опору потоку рідини [1].

Одним з можливих напрямків використання даного демпфера може бути його встановлення в якості елемента активного контролю руху в протезі ноги.

Робота системи з демпфером відповідає наступній спрощеній блок схемі (рис. 2).

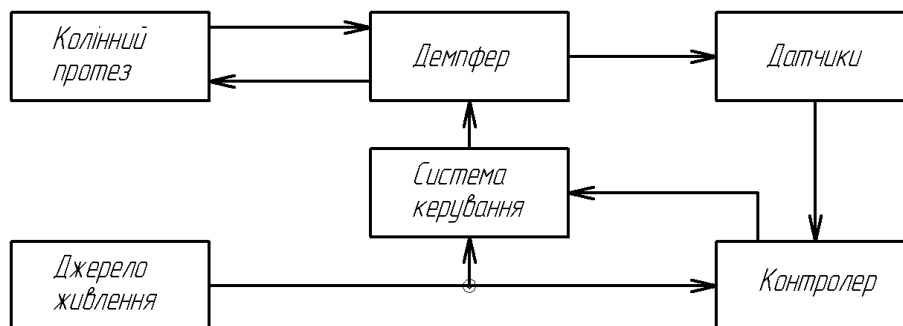


Рисунок 2 – Блок-схема роботи системи магнітореологічного демпфера

Зусилля від колінного протеза передаються на демпфер який в свою чергу створює відповідне зусилля опору, чим забезпечує необхідні параметри руху. Датчики збирають дані про характер руху, параметри навколишнього середовища та рідини. Отримані

сигнали надходять до контролера, який формує сигнал для системи керування, яка виконує корегування робочої характеристики демпфера.

В даному випадку керування відбувається шляхом створення магнітного поля навколо каналу з рідиною.

Можливі варіанти конструктивних схем демпфера приведені на рисунку 3.

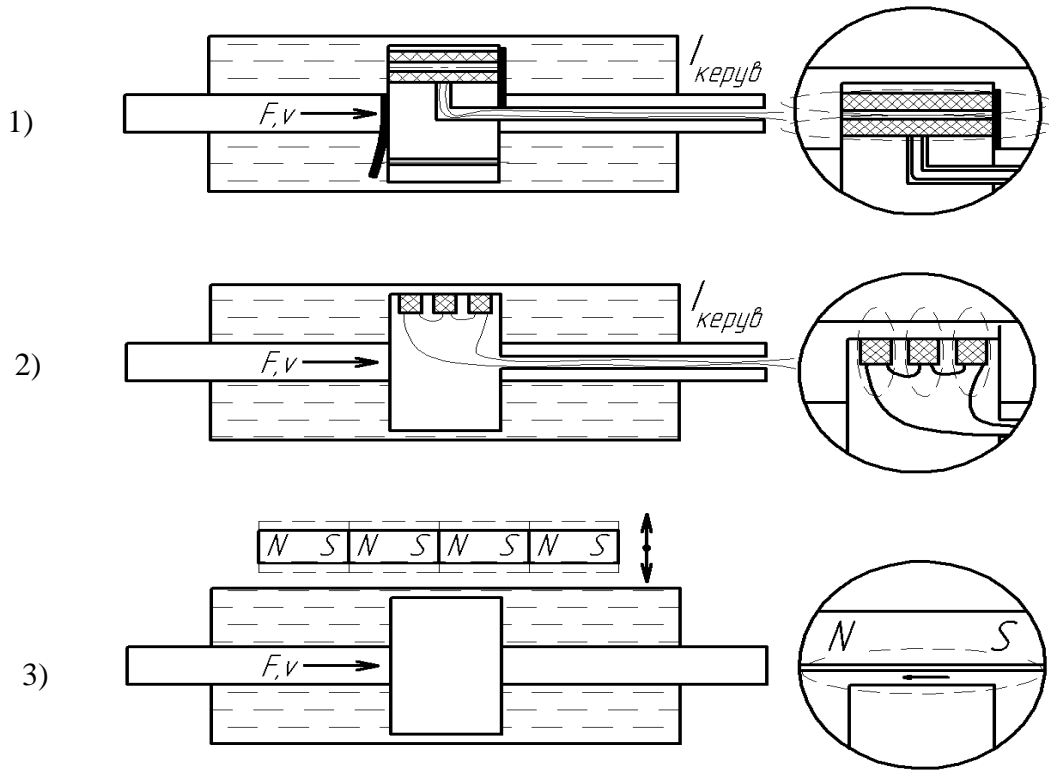


Рисунок 3 – Варіанти схемних рішень магнітореологічного демпфера:

- 1 – з використанням дросельного отвору та клапанів; 2 – з використанням концентричного зазору;
3 – з використанням постійних магнітів

В якості дросельного каналу можливо використати отвір в поршні з паралельно встановленим коригуючим дроселем (варіант 1) та зазор між поршнем та циліндром демпфера (варіанти 2 і 3).

Розрахунок течії в циліндричному отворі в поршні можна виконати за формулою для ламінарного дроселя, що має наступний вид [2]:

$$\Delta p = Q \frac{128 \nu \rho l}{\pi d_k^4}$$

Розрахунок течії в кільцевому концентричному каналі, між циліндром та поршнем, проводимо за наступною залежністю [2]:

$$\Delta p = Q \frac{12 \rho \nu l}{\pi d_3 s^3}$$

де Q – витрата, м³/с, d_k – діаметр каналу в поршні, м, d_3 – середній діаметр зазору, м, Δp – перепад тиску, Па, s – ширина зазору, м, l – довжина каналу, м, ν – кінематична в'язкість, м²/с, ρ – густина, кг/м³.

За заданих розмірів демпфера: діаметр поршня – 16 мм, діаметр штока – 5 мм, діаметр каналу в поршні – 1 мм, довжина каналу – 20 мм, ширина зазору – 0,1 мм, та параметрах рідини: густина – 900 кг/м³, та в'язкість – 80 мм²/с, проведемо наближений розрахунок параметрів демпфера.

При швидкості поршня 0,2 м/с витрата в каналі буде 0,0000363 м³/с (площа поршня 0,0001813 м²).

При цьому перепад тиску на ламінарному дроселі буде:

$$\Delta p = Q \frac{128 \cdot \nu \cdot \rho \cdot l}{\pi \cdot d_{\kappa}^4} = 1,06 \cdot 10^6 \text{ Па.}$$

На дроселі у вигляді концентричного кільцевого зазору:

$$\Delta p = Q \frac{12 \cdot \rho \cdot \nu \cdot l}{\pi \cdot d_3 \cdot s^3} = 6,05 \cdot 10^6 \text{ Па.}$$

При даних величинах тиску в порожнинах циліндра демпфера можна отримати зусилля з залежності:

$$F = \Delta p \cdot S.$$

Згідно розрахунків, в першому випадку, при заданій швидкості руху поршня, зусилля дорівнює 193,1 Н, а в другому – близько 1100 Н.

У випадку роботи демпфера з використанням магнітореологічної рідини з'являється можливість керування демпфером шляхом подачі струму на обмотку магнітореологічного дроселя. Розрахунок його параметрів можна виконати за наведеними нижче залежностями.

Перепад тиску створюваний на робочому зазорі МР-дроселя $\Delta P = \Delta P_{\eta} + \Delta P_{\tau}$ ΔP_{η} – в'язкий компонент, який визначає плином рідини з в'язкістю h , ΔP_{τ} – мінімальний перепад тисків, який необхідний для зсуву одного шару рідини щодо іншого, який визначається межею плинності структурованої середовища τ_y .

При відсутності магнітного поля потік МРР через кільцевий зазор дроселя описується формулою Пуазейля для розрахунку трубопроводів з ламінарним режимом [3, 4] і ньютонівська складова перепаду тиску ΔP_{τ} являє собою функцію, залежну від межі плинності суспензії і геометричних параметрів зазору:

$$\Delta P_{\tau} = f(\tau_y, L, h).$$

У загальному вигляді залежність (2) для дроселя з кільцевих робочим зазором, в якому діють зсувні напруження, можна записати як:

$$\Delta P_{\tau} = \frac{c \tau_n(H)L}{h},$$

де c – коефіцієнт, що залежить від відношення $\Delta P_{\tau} / \Delta P_{\eta}$ (згідно з даними роботи [5] $c = 2$ для $\Delta P_{\tau} / \Delta P_{\eta} \ll 1$ і $c = 3$ для $\Delta P_{\tau} / \Delta P_{\eta} > 100$).

В роботі розглянуте питання побудови демпфера для протезу з використанням магнітореологічного ефекту. Представлено принцип роботи та наведені можливі конструктивні схеми демпферів. Проведений розрахунок дозволив визначити конструктивні параметри демпфера. Подальша робота передбачає визначення параметрів та створення дослідного зразка демпфера з використанням магнітореологічної рідини.

Література

1. З. П. Шульман, В. И. Кордонский – Магнитореологический эффект /; под ред. Р. И. Солухина ; АН БССР, Ин-т тепло- и массообмена им. А. В. Лыкова. – Минск : Наука и техника, 1982. – 184 с. : ил
2. Башта Т. М., Зайченко И. З., Ермаков В. В., Хаймович Е. М. Объёмные гидравлические приводы. М., «Машиностроение», 1969, 628 с.
3. Kuzhir P., Bossis G., Bashtovoi V. Optimisation of magnetorheological Fluid valves // International Journal of Modern Physics B, Vol. 19, № 7,8,9, 2005, 1229–1235.
4. Ginder J. M. Behavior of magnetorheological fluids // MRS Bulletin, 23(8). – P. 26–28. 1999.
5. Д. Ю. Борин, В. П. Михайлов, А. М. Базиненков – Моделирование магнито-реологического дросселя модуля линейных сверхточных перемещений. Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер. «Машиностроение». 2007. № 4.