
УДК 681.5.015

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ МАГНІТНО-ГІДРАВЛІЧНОГО ДЕМПФЕРА

Костюк Д.В., Ночніченко І.В., Галецький О.С.
КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

***Анотація.** В роботі розглянуто застосування принципово нового типу демпферного елемента, який застосовується в якості пристрою гасіння коливань у протезі колінного суглобу. Для дослідження роботоздатності розробленого демпфера на першому етапі розроблено математичну модель, що дозволило дослідити та проаналізувати внутрішні процеси, які протікають в гідравлічних камерах демпфера та оцінити взаємодію двох систем: гідравлічної і магнітної. Модель будувалася на основі циклічно-модульного підходу, що дозволяє якісно і кількісно оцінювати характеристики магнітно-гідравлічних демпферів різних типорозмірів, що застосовуються у протезах колінного суглобу при різному несучому навантаженні.*

***Ключові слова:** демпфер, магнітно-гідравлічний, математична модель, протез колінного суглобу.*

Через складну ситуацію в Україні є багато людей, які постраждали під час бойових дій і втратили кінцівки. Складне протезування в Україні проводиться але собівартість комплексу має велику собівартість. Незважаючи на те, що в області протезування за останні роки був зроблений великий прорив, все ж залишається актуальним питання виготовлення простого, термостабільного, зручного в експлуатації, зі стабільною характеристикою, адаптивного але в той же час економічно вигідного протезу. Окрім того, протезування за межами нашої країни призводить до проблем з подальшим обслуговуванням протезу, що несе додаткові матеріальні витрати для людини.

Одним з основних елементів який визначає робочу характеристику руху ендопротезу та відтворює реалістичність руху є демпферний пристрій. В основі роботи демпфера лежить принцип поглинання частини енергії руху шарнірного механізму та перетворення її в теплову енергію за рахунок в'язкого тертя на дросельних елементах [1]. Класичні гідравлічні демпфери, при роботі і досить великому часі напрацювання, починають втрачати робочу рідину через ущільнюючі елементи [2]. Одним з недоліків гідравлічних пристроїв демпфування коливань є залежність зусилля опору від температури навколишнього середовища, що викликано зміною в'язкості робочої рідини [1, 2]. Це обумовлює

ускладнення експлуатації демпферів та постійне підлаштування зусилля опору в процесі його роботи в широкому діапазоні температур. Та призводить до зміни робочих характеристик демпфера, забруднення навколишнього середовища та погіршення естетичного вигляду елементів протезу і практичності його застосування [3].

Запропонований магнітно-гідралічний демпфер (рис. 1) має герметичну гідралічну камеру, що виключає можливість витоків робочої рідини. Також демпфер включає в себе: шток А, який з'єднано з порожнистим герметичним поршнем, в середині якого міститься рідина та рухомий поршень В, який утворюють кільцеві магніти.

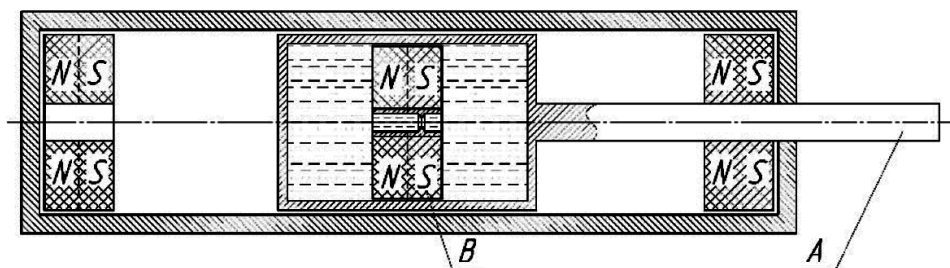


Рис. 1. Схема магнітно-гідралічного демпфера

Поршень містить дросельний отвір, що дозволяє рідині перетікати з однієї частини поршневої камери в іншу при переміщенні штока. Кільцеві магніти, розміщені по краях гільзи, взаємодіють з магнітним поршнем, змушуючи його рухатись під дією сил магнітного відштовхування та гідростатичної сили, що виникає внаслідок зміни тиску в частинах поршневої камери при переміщенні штока. Таким чином створюється зусилля опору на штоку. Складність демпфера та наявність фізично різнорідних складових елементів демпфера зумовила вибір спеціального підходу до побудови його математичної моделі. Був застосований циклічно-модульний підхід, який дозволив скоротити термін побудови моделі та час її налаштування [4].

Рідинні демпфери мають певну характеристику залежності зусилля демпфування від швидкості руху поршня. Особливо чутливі до впливу температури є демпфери з лінійними характеристиками, в яких перетікання робочої рідини в дроселюючому елементі здійснюється при ламінарному плинні. Зусилля опору демпфера для ламінарного дроселя визначається за залежністю:

$$F = k \cdot v_p$$

де v_p - швидкість руху поршня, k - коефіцієнт демпфування.

Взаємний зв'язок між модулями демпфера та процесами, що відбуваються в ньому, представлено схемою будови моделі (рис. 2). В подальшому дана схема дозволила скласти систему математичних рівнянь.

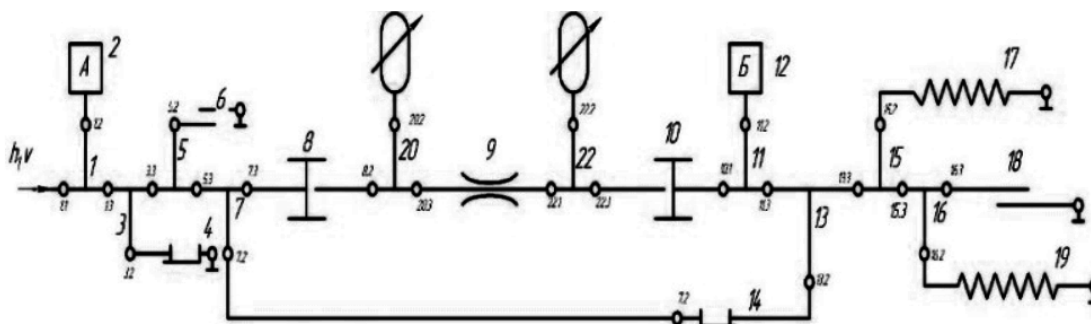


Рис. 2. Схема будови моделі магнітно-гідралічного демпфера

Функціонування демпфера, відповідно до схеми відбувається наступним чином. Вхідна дія у вигляді швидкості впливає на шток А, зображений елементом «маса» 2, під дією якої відбувається його переміщення, яке далі, через елемент розгалуження потоку, передається на елемент 3 «умовне з'єднання», який в поєднанні з опорою 4 імітує обмеження ходу. Одночасно переміщення передається через розгалужувач потоку 5 до елементу 13, що імітує пару тертя. Переміщення штока А подається через розгалужувач потоку 7 на елемент 8 – «гідромеханічний перетворювач», на виході якого формується потік, що призводить до зростання тиску в елементі 20 – «камера змінного об'єму». Під дією зростаючого тиску в камері 20 виникає потік через дросель 9, величина якого визначається перепадом тисків в камерах 20 і 22. Тиск в камері 22 призводить до виникнення сили на гідромеханічному перетворювачі 10, під дією якою приводиться в рух поршень Б, зображений елементом 12 «маса» та через розгалужувачі потоку передається через елемент «умовне з'єднання» 14 на вхід гідромеханічного перетворювача 8. Також при переміщенні маси 12 відбувається зміна відстані між магнітами та відповідно виникаючої відштовхуючої сили, що зображено в схемі «пружинами» 17 та 19, а також виникає сила тертя, що зображено взаємодією елемента 18 з опорою.

Модель фізичні явища та процеси, які виникають при роботі демпфера представлені системою рівнянь (1) та (2).

$$(1) \left\{ \begin{array}{l} \frac{dp_{223}}{dt} = \frac{E}{V_0 \mp \Delta V} \cdot q_{222} \\ F_{101} = F_{112} + F_{113} \rightarrow F_{112} = F_{101} - F_{113} \\ \frac{dv_B}{dt} = \frac{F_{112}}{m_B} \\ F_{113} = F_{133} + F_{132} \\ F_{132} = 0, \quad \text{при } h_{132} \neq h_{73} \\ F_{132} = F_{73}, \quad \text{при } h_{132} = h_{73} \\ F_{133} = F_{152} + F_{153} \\ F_{152} = k_{17} \cdot (\pm h_{13}) \\ F_{153} = F_{162} + F_{163} \\ F_{162} = k_{19} \cdot (\mp h_B) \\ F_{163} = b_B \cdot v_B \end{array} \right.$$

$$(2) \left\{ \begin{array}{l} v(t) = v_{11} \\ v_{11} = v_{12} = v_{13} \\ \frac{dv_2}{dt} = \frac{F_2}{m_A} \rightarrow F_2 = F_{12} = \frac{dv_{12}}{dt} \cdot m_A \\ F_{11} = F_{52} + F_{53} \\ F_{52} = b_A \cdot v_A \\ F_{73} = p_{82} \cdot S \\ q_{82} = q_{202} + q_{203} \rightarrow q_{202} = q_{82} - q_{203} \\ \frac{dp_{82}}{dt} = \frac{E}{V_0 \pm \Delta V} \cdot q_{202} \\ q_{82} = v_A \cdot S \\ q_{223} = v_B \cdot S \end{array} \right.$$

де $v(t)$ – швидкість штока, $q_{3,2}$ – витрата через дросель в підкритичному режимі; $q_{4,2}$ – витрата повітря через дросель в надкритичному режимі; μ – коефіцієнт витратити у дроселі; f – площа перерізу дроселя; V_0 – початковий об'єм пневматичної камери; ΔV – змінний об'єм пневматичної камери; v – швидкість руху поршня; S – ефективна площа поршня; b – коефіцієнт в'язкого тертя; $F_{8,2}$ – зусилля, що створюється на поршні; h – переміщення.

Робочі процеси в демпфері описуються рядом рівнянь. Які включають в себе врахування: інерції рухомих мас штока та поршня, сил в'язкого тертя, що виникають в місцях контакту елементів, зміну тиску в камері змінного об'єму з врахуванням стисливості рідини під час зміни об'єму, витрату рідини через турбулентний дросель в поршні, врахування взаємодії відштовхування магнітів, представивши їх у вигляді магнітних пружин.

Висновки. Розроблена математична модель магнітно-гідравлічного демпфера дозволяє досліджувати вплив його параметрів та механічної частини просторового механізму і температури робочої рідини на зусилля опору і час процесу затухання коливань. Використання моделі дозволить підтвердити ефективність компенсації температурних змін характеристик шляхом корекції площ дросельних отворів клапанно-дросельного вузла демпфера і уточнити необхідну величину зміни площ дросельних отворів.

Список літератури

1. *K. J. Meessen*. Analysis and design of a slotless tubular permanent magnet actuator for high acceleration applications / K. J. Meessen, J. J. H. Paulides, E. A. Lomonova // Journal of applied physics. Vol. 105. – 2009 – pp. 07F110-1 - 07F110-3.
 2. *Дербаремдикер А.Д.* Гидравлические амортизаторы автомобиля. - М.: Машиностроение, 1986. –216 с.
 3. *Ночніченко І.В.* Гідравлічний амортизатор з автоматичною стабілізацією характеристик в змінних умовах експлуатації // І.В. Ночніченко / Вісник Кременчуцького національного університету ім. М.Остроградського. – Кременчук, 2014. – № 3 (86). – С. 117-124.
 4. *Узунов О. В.* Математична модель робочого процесу у гідравлічному автомобільному амортизаторі / І. В. Ночніченко, О. В. Узунов // Науково – технічний збірник НТУ. – Київ. – 2011. – № 65. – С. 100-111.
-