

УДК 629.027

М.М. Довгополий, студ., І.В. Ночніченко, к.т.н., доц.
Національний технічний університет України «Київський політехнічний
інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна

Математичне моделювання роботи гідравлічного демпфера у складі шарнірного механізму протеза колінного суглоба людини

Актуальною проблемою є запобігання механічних коливань та вібрацій, що виникають при роботі машин. Забезпечення високоточного переміщення ланок механізмів, без яких є неможливою робота сучасної промисловості, особливо машинобудівної та медичної галузях. Відомим рішенням є застосування гідравлічних демпферів, що пом'якшують роботу цих механізмів та сприймають на себе більшість осьових навантажень, що спричиняють рух штока та поршня [1]. Дані демпферні пристрої є найбільш ефективними у певних частотних діапазонах 0,1-15 Гц [2-3].

В даній роботі досліджено адекватність роботи гідравлічного демпфера з лінійною силовою характеристикою у складі шарнірного механізму протеза колінного суглоба людини в продовж тривалої роботи, вплив на неї конструктивних параметрів, різних умов експлуатації та властивостей робочого середовища. Проведено перевірку правильності математичного моделювання робочих процесів у MATLAB Simscape, що не суперечить загальним розрахунковим результатам.

Загальновідомим є те, що принцип роботи демпфера полягає у перетворенні частини прикладеної механічної енергії в теплову шляхом гідравлічного тертя у дросельних каналах під час перетікання робочої рідини з однієї порожнини в іншу [4]. В результаті виникає перепад тиску між штоковою та поршневою порожнинами, який визначає силову характеристику демпфера. При цьому значною проблемою є також кавітація, що виникає при експлуатації гідравлічного демпфера. Процес утворення кавітаційних каверн пояснюється неможливістю рідини створювати необхідний опір, в результаті чого рідина не встигає перетікати з однієї порожнини в іншу [5-10]. Описані процеси тісно пов'язані між собою, і даний зв'язок пояснюється явищем переносу, а саме законом динамічної в'язкості Ньютона та законом теплопровідності Фур'є [6]:

$$\begin{cases} \tau = -\mu \cdot \text{grad } u \\ q = -Q \cdot \text{grad } T \end{cases}, \quad (1)$$

де: τ – напруження зсуву [Па]; q – тепловий потік [Вт]; μ – динамічна в'язкість [Па·с]; Q – коефіцієнт теплопровідності [Вт/(м·К)]; u – швидкість потоку [м/с]; T – температура середовища [К].

Гідравлічний демпфер у складі протеза містить в собі концентричний калібрований дросельний зазор, утворений тілами гільзи та поршня, та містить пневматичну компенсаційну камеру (рис.1).

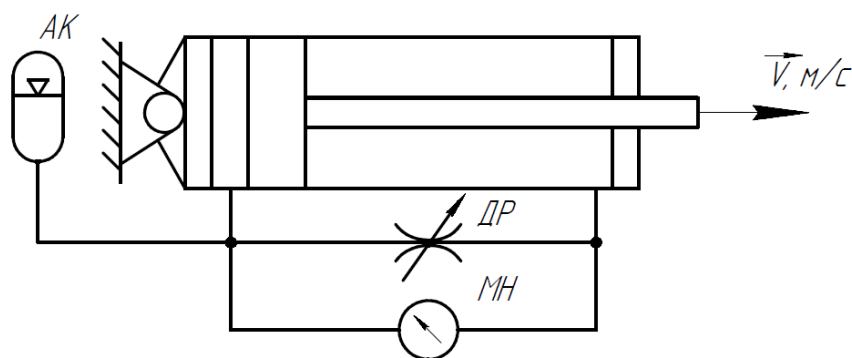


Рис.1. Схема гідравлічна демпфера

279

Відповідно до схеми гідравлічної (рис.1) побудовано математичну модель у MATLAB Simscape (рис.2), в якій застосовано бібліотеки *mechanical*, *thermal*, *thermal liquid*. В даній моделі враховуються: загальна маса демпфера та окремо його рухомі частини; робочі процеси у демпфері та пневматичній компенсаційній камері; об'єм, маса та залежні від температури характеристики робочої рідини і теплообмінні процеси, що перебігають у ній при експлуатації; спрощений процес теплообміну між демпфером та навколишнім середовищем. В даній моделі спрощено представлено теплообмінні процеси з навколишнім середовищем, а саме: конвекція робочої рідини при демпфуванні та її теплообмін з внутрішніми поверхнями демпфера, теплопровідність у гільзі демпфера, потім внутрішнє накопичення енергії у тілі демпфера (що представлено у вигляді маси та питомої теплоємності основного матеріалу демпфера) та подальший теплообмін між усіма зовнішніми поверхнями демпфера з навколишнім середовищем (повітрям певної температури). При цьому нехтувалося теплообмінними процесами всередині пневматичної компенсаційної камери, а також не враховувалася площа поверхонь штока та поршня.

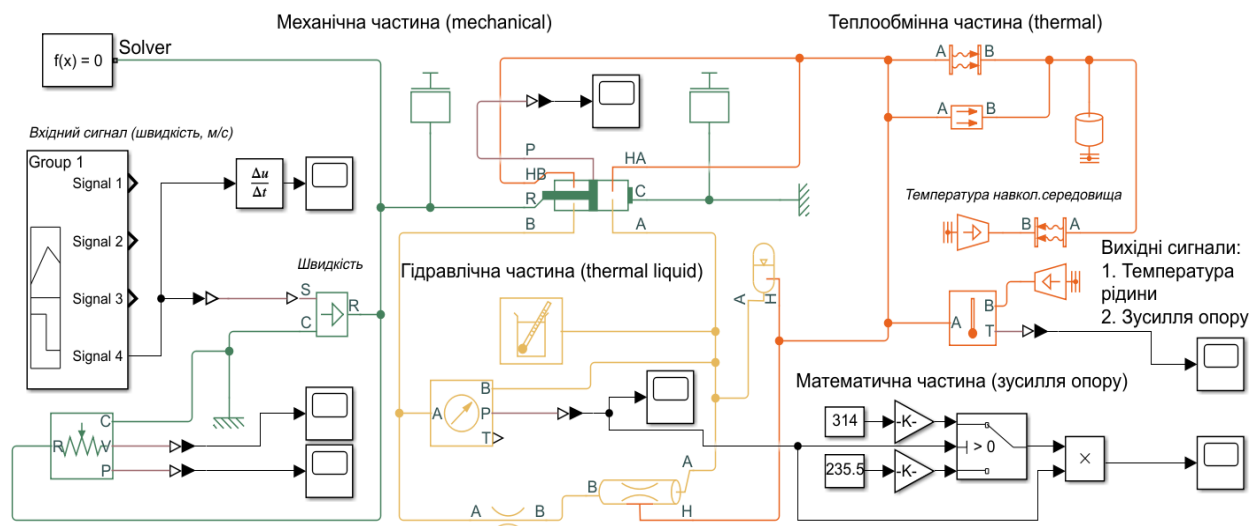


Рис.2. Математична модель у MATLAB Simscape

Вхідними сигналами в даній моделі є швидкість руху поршня внаслідок механічної взаємодії штока та зовнішнього джерела. Усі сигнали є синусоїдальними з однаковою частотою в 1,33Гц, яку може досягти демпферний пристрій при роботі у складі шарнірного механізму протеза колінного суглоба людини, та різними амплітудами, а саме: $\pm 2,825$ мм, $\pm 5,65$ мм, $\pm 8,475$ мм, $\pm 11,3$ мм. Симуляція робочих процесів проводилася за різних вхідних сингалів, однакових температур навколишнього середовища та початкової температури робочої рідини протягом 3600 секунд безперервної роботи. Наведено наступні основні параметри досліджуваного об'єкта: робоча рідина ISO VG 32, маса демпфера - 0,3 кг, маса рухомих елементів демпфера - 0,07 кг, максимальний хід поршня - 24 мм, внутрішній діаметр гільзи - 20 мм, товщина гільзи - 3 мм, діаметр поршня - 19,5 мм, діаметр штока - 10мм, довжина каналу - 20мм, загальний об'єм пневматичної компенсаційної камери - 1400 мм², тиск навколишнього середовища - 0,101325 МПа, коефіцієнт витрати потоку - 0,15.

В результаті отримано наступні криві, що залежать від часу експлуатації: залежність температури робочої рідини (рис.3, рис.4), залежність зусилля опору при режимах роботи «стиснення» та «відбій» (рис.5, рис.6). З отриманих результатів випливає, що за високих амплітуд та безперервної роботи зусилля опору демпфера сильно знижується, що робить неможливим його надійну роботу.

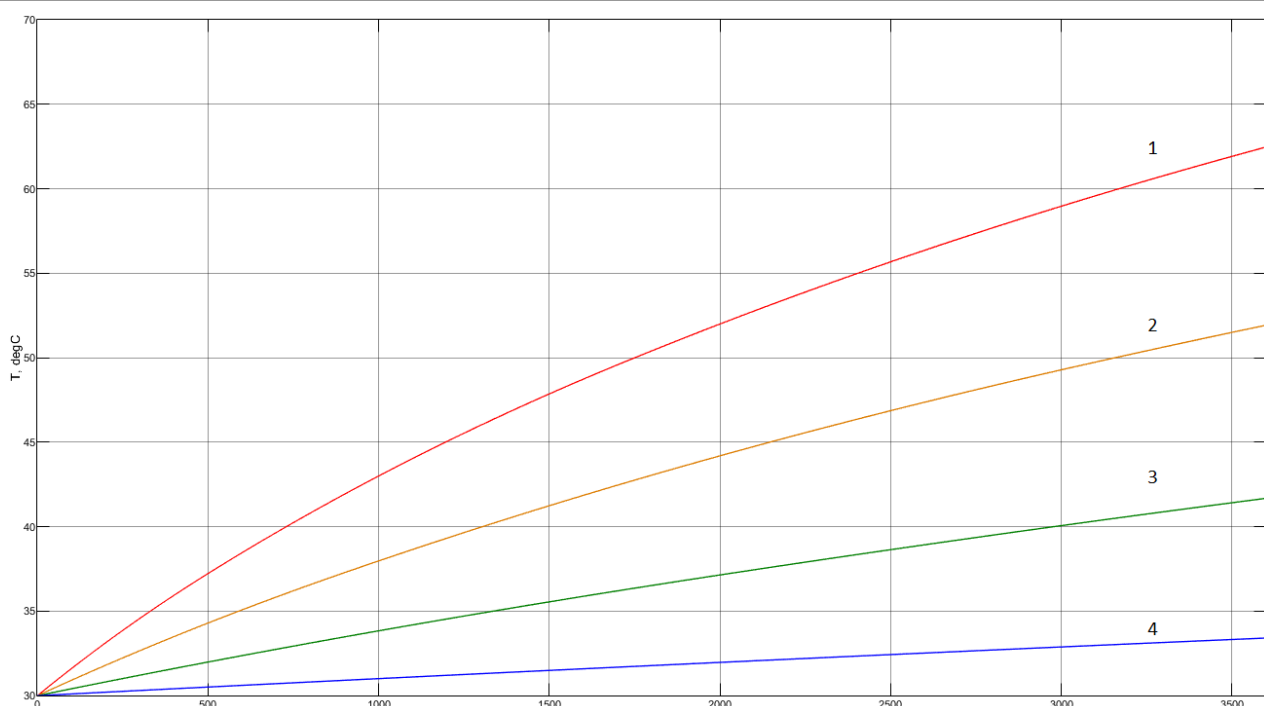


Рис.3. Зміна температури робочої рідини протягом експлуатації демпфера при частоті 1,33Гц при початковій температурі 30°C (1--при амплітуді $\pm 11,3$ мм, 2--при амплітуді $\pm 8,475$ мм, 3--при амплітуді $\pm 5,65$ мм, 4--при амплітуді $\pm 2,825$ мм)

281

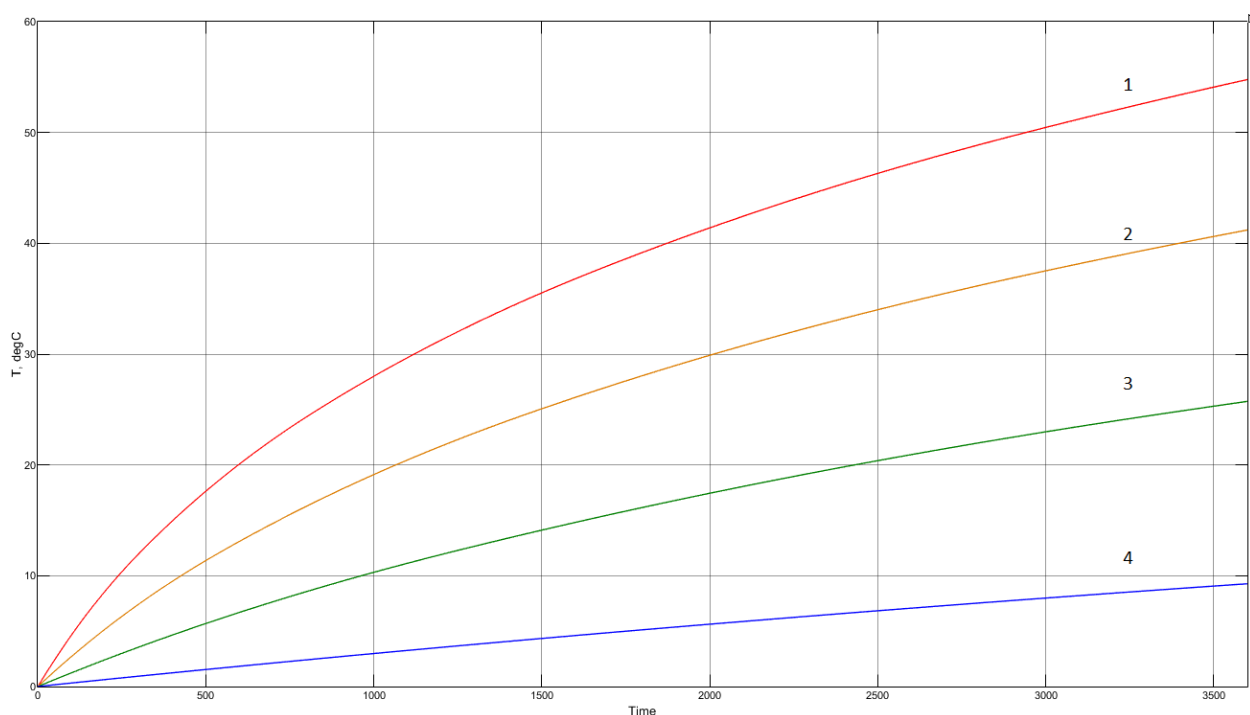


Рис.4 . Зміна температури робочої рідини протягом експлуатації демпфера при частоті 1,33Гц при початковій температурі 0°C (1--при амплітуді $\pm 11,3$ мм, 2--при амплітуді $\pm 8,475$ мм, 3--при амплітуді $\pm 5,65$ мм, 4--при амплітуді $\pm 2,825$ мм)

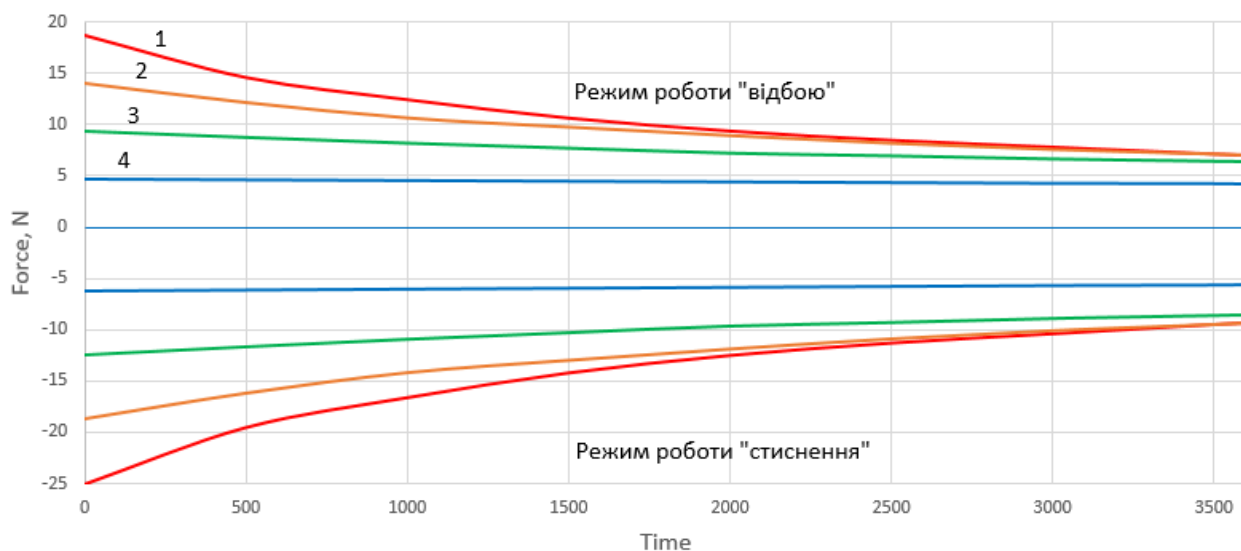


Рис.5. Зміна зусилля опору протягом експлуатації демпфера відповідно до зміни його температури (рис.3)

Так при роботі демпфера (рис.5) за амплітуди в $\pm 11,3\text{мм}$, $\pm 8,475\text{мм}$ та $\pm 5,65\text{мм}$ створюване зусилля опору знижується на 62,6%, 50% та 32,6% за годину роботи відповідно. Настільки значне зниження ефективності роботи демпфера є неприпустимим у складі шарнірного механізму. При роботі демпфера за амплітуди в $\pm 2,825\text{мм}$ зусилля опору знижується на 11%, що є прийнятним. Відповідно до результатів моделювання (рис.5) видно, що можлива робота за амплітуд $\pm 5,65\text{мм}$ та $\pm 8,475\text{мм}$ на проміжку не більше 500 секунд.

282

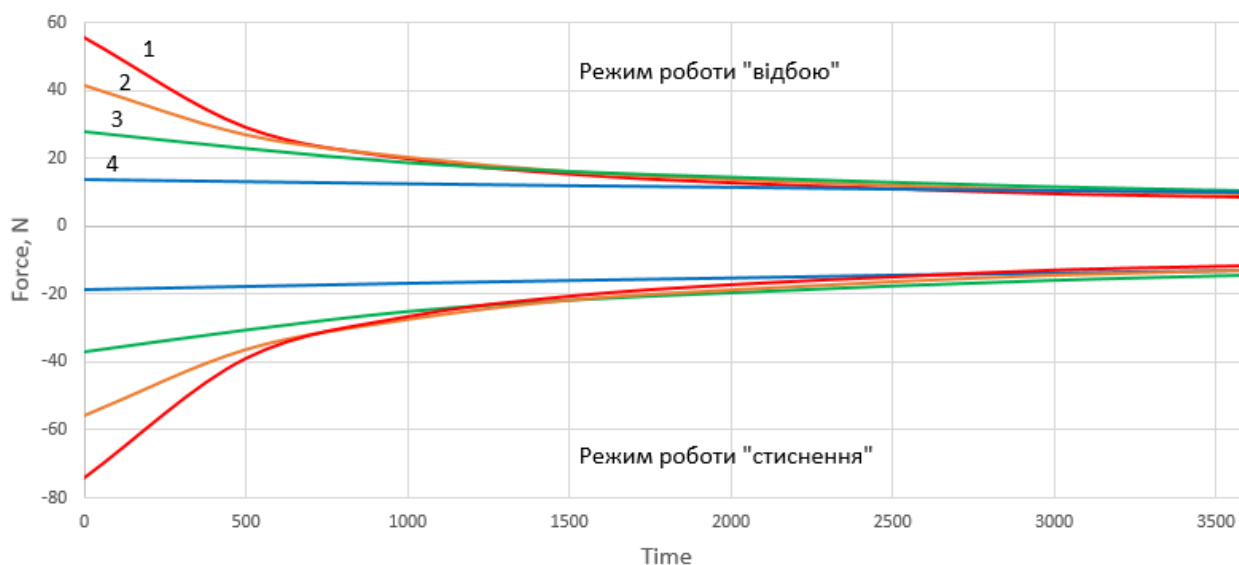


Рис.6. Зміна зусилля опору протягом експлуатації демпфера відповідно до зміни його температури (рис.4)

При роботі демпфера (рис.6) за амплітуди в $\pm 11,3\text{мм}$, $\pm 8,475\text{мм}$ та $\pm 5,65\text{мм}$ створюване зусилля опору знижується на 85%, 76% та 56% за годину роботи відповідно. З залежності, отриманої шляхом математичного моделювання (рис.6) видно, що за таких початкових умов експлуатації ефективна безперервна робота за даних амплітуд неможлива навіть на проміжку 500 секунд. При роботі демпфера за амплітуди в $\pm 2,825\text{мм}$ зусилля опору знижується на 27%, що вже не є прийнятним на проміжку в одну годину.

Висновки:

Підібрано раціональні конструктивні параметри, умови експлуатації та властивості робочого середовища демпфера з лінійною силовою характеристикою під жорсткі вимоги шарнірного механізму протезу колінного суглоба людини. Також проведено симуляцію роботи гідравлічного демпфера медичного призначення у програмному пакеті MATLAB Simscape зі застосуванням бібліотек mechanical, thermal, thermal liquid та отримано дані, що були перевірені на коректність та співставлені з існуючими аналогами та не суперечать загальним розрахунковим результатам. Виявлено, що: при екстремальних режимах роботи демпфера за амплітуди $\pm 8,475\text{мм}$ та вище ефективність роботи погіршується більше ніж на 50% за годину роботи (рис.5); при роботі за амплітуди $\pm 5,65\text{мм}$ та вище ефективність роботи погіршується більше ніж на 56% за годину роботи (рис.6). Подальші дослідження будуть спрямовані на застосування мехатрони термочутливої системи та нейронної мережі з метою автоматичного корегування силової характеристики демпферного пристрою при його експлуатації в змінних умовах експлуатації та при екстремальних режимах роботи.

283

Список використаних джерел

1. Башта Т.М., Зайченко И.З., Ермаков В.В., Хаймович Е.М.. Объёмные гидравлические приводы. М., «Машиностроение», 1969, 628с.
2. Руппель А.А., Сагандыков А.А., Корытов М.С. Моделирование гидравлических систем в matlab: учебное пособие. – Омск: СибАДИ, 2009.
3. Дербаремдикер А.Д. Амортизаторы транспортных машин. [2 изд. перераб. и доп.] / А.Д. Дербаремдикер. — М.: Машиностроение, 1985 г. —200 с.

4. М.М. Довгополий, І.В. Ночніченко, О.С. Галецький, Д.В. Костюк, Особливості керування напруженням плинності магнітореологічної рідини в демпферному пристрої, Всеукраїнська науково-технічна конференція молодих вчених та студентів «Інновації молоді – машинобудуванню 2019», м. Київ, 2019 – С. 239-243.

5. Башта Т.М., Объемные насосы и гидравлические двигатели гидросистем Учеб. для вузов по специальности «Гидропневмоавтоматика и гидропривод». М., «Машиностроение», 1974, 606с. с ил.

6. Довгополий М.М. Ночніченко І.В. Застосування явища переносу при побудові магнітореологічного демпфера протеза колінного суглоба людини/ XIX ММНТК «Машинобудування очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво» -- 2020.11.25 – С-54-57.

7. O. Luhovskyi, I. Nochnichenko, O. Jakhno , D. Kostiuk (2018) Temperature influence on cavitation mass transfer in the channel of laval nozzle type // Journal of the Technical University of Gabrovo, #57 I. – Gabrovo, Bulgaria, pp. 12 - 15, 2018 p.

8. Nochnichenko, O. Jakhno, I. Liberatskyi (2019)The character of the transfer phenomenon in the work processes of the hydraulic damper // International scientific conference proceedings «Unitech 2019», 16-17 November, 2019. – Gabrovo, Bulgaria,. – pp. 273 – 277.

9. I Nochnichenko, O Uzunov, K Belikov, O Haletskyi, Visualization of hydrodynamic processes in a two-pipe hydraulic shock absorber in the study of the cavitation transfer phenomenon, Вісник Національного технічного університету" ХПІ". Серія:" Гідравлічні машини та гідроагрегати" 2020– С-70-76.

10. I Nochnichenko, O Uzunov, K Belikov, O Haletskyi, Visualization of hydrodynamic processes in a two-pipe hydraulic shock absorber in the study of the cavitation transfer phenomenon, Вісник Національного технічного університету" ХПІ". Серія:" Гідравлічні машини та гідроагрегати" 2020– С-70-76.