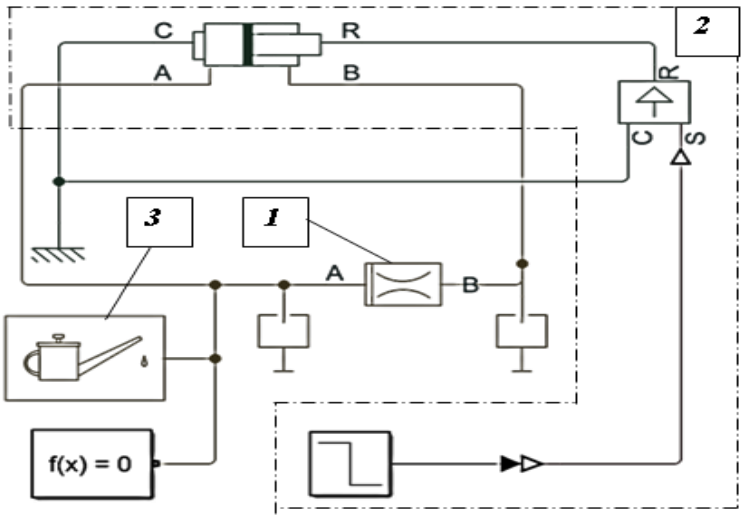

Рис.3 – Модель дросельного вузла, побудована за допомогою блоків Simcape

Список використаних джерел

1. *Derbaremdiker, A.D. Амортизаторы* транспортных машин, 2-е изд., 1985, Машиностроение, Москва, Россия

2. *Morettini G, Experimental* diagnosis of cavitation for a hydraulic monotube shock absorber [G. Morettini, N. Bartolini, D. Astolfi, L. Scappaticci, M. Becchetti, F. Castellani]. Diagnostyka. 2016;17(3):75-80.

УДК 532.51

Ночніченко І. В., к.т.н., доц., **Яхно О. М.,** д.т.н., проф.
КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЯВИЩА ПЕРЕНОСУ ПРИ АНАЛІЗІ СИСТЕМ НА ПРИКЛАДІ ГІДРАВЛІЧНОГО ДЕМПФЕРА

Анотація. *Розглянуто характер явища переносу який як правило розглядають на трьох ієрархічних рівнях: макроскопічний, мікроскопічний, молекулярний. Показано, що коефіцієнт переносу в'язкості суттєво впливає на зусилля опору гідравлічного демпфера та залежить від рівня розгляду середовища та його реологічних властивостей робочої рідини.*

Ключові слова: *явища переносу, коефіцієнт переносу, рівні розгляду системи.*

У термодинамічно нерівноважних системах виникають особливі незворотні процеси, які в фізиці називають явищами перенесу, в результаті яких відбувається просторовий перенос енергії, маси, імпульсу [1-2].

На даний час рідини і гази в гідродинаміці називають суцільними середовищами, які на молекулярному рівні являють сукупність молекул і атомів [5]. Ці частинки знаходяться в постійному хаотичному русі та взаємодіють одна з одною. Але механіка суцільних середовищ зазвичай не розглядає сили внутрішньої взаємодії часток на молекулярному рівні, а розглядає динаміку суцільного середовища при впливі зовнішніх силових і теплових полів на макрорівні [5].

В процесах на макрорівні є поєднання різних явищ переносу [1,3,4], в деяких випадках більш поглиблено розглядають як зв'язок макроскопічний та мікроскопічний перенос зв'язаний з молекулярним, як показано в загальному випадку в фізиці цілим рядом коефіцієнтів переносу. Молекулярний перенос дає змогу розглядати потік рідини більш поглиблено. Вагомими прикладами, де розглядаються як правило мікроскопічний перенос є: прогнозування динаміки змащення, моделювання нано та мікропотоків у фільтрах,

мікрореакторах, трибологія і знос в області механіки контакту змащення, змащування в мініатюризованих компонентах, розділення рідких фаз. Явище переносу можливо описати у першому наближенні трьома основними коефіцієнтами переносу: коефіцієнт тертя, коефіцієнт теплопередачі, і коефіцієнт масо переносу.

Аналіз явища переносу в процесах функціонування являється одним з ефективних підходів до розгляді технічних систем та потребує більш поглибленого вивчення [1-2].

Найбільш розповсюджені методи моделювання молекулярної структури є методи молекулярної динаміки в якому інтегрують рівняння руху Ньютона для множини молекул на основі міжмолекулярного потенціалу та метод прямого моделювання Монте-Карло в поєднанні з Ньютонівською динамікою. Метод ґратчастого газу та решітки Больцмана. Рівняння Нав'є – Стокса описують течію в'язкої Ньютонівської рідини та вирішуються на основі ділянки континуум рівняння, які враховують локальне збереження маси, імпульсу і енергії [3,5]. Ці три методи мають свої відповідні переваги при різних числах Кнудсена. Число Кнудсена є відношенням між середнім контуром вільної молекули і характерною шкалою довжини, що представляє неоднорідність «мезоскопічної» (розмір між мікроскопічним та макроскопічним) системи (наприклад, розмір перешкоди) [3]:

$$k = \frac{L_1}{L_2},$$

де L_1-середня довжина вільного пробігу молекули, L_2 -характерна довжина системи.

Таким чином метод чисельного моделювання для поглибленого аналізу демпфера може бути представлено наступними етапами з застосуванням явища переносу [5]:

- вибір фізичної моделі досліджуваного явища і сукупності параметрів та врахування коефіцієнтів переносу які визначають його особливості;
- вибір математичної моделі процесу і системи вихідних рівнянь розгляду (масштабування рівня розгляду системи та зведення до геометричних фігур або форм);
- формулювання початково-крайових умов задачі, дискретизація вихідної системи рівнянь;
- розробка та налагодження комплексу програм чисельного рішення задачі та тестування схеми;
- виконання розрахунків, аналіз та графічна обробка результатів розрахунку;
- результат (конструкція).

Розглянемо більш детально характер явища переносу та проаналізуємо вплив коефіцієнту переносу на прикладі гідравлічного демпфера. Принцип роботи гідравлічного демпфера полягає в перетворенні енергії механічних коливань в теплову енергію за рахунок в'язкого тертя в каліброваних дроселях з подальшим розсіюванням в навколишнє середовище. Тому при значній інтенсивності коливань та тривалій роботі демпфера також відбуватиметься зміна температурних умов. Проведений аналіз встановив, що зміна температури робочої рідини впливає на її в'язкість, густину. Зважаючи, що характеристики демпфера залежать від характеристик процесу дроселювання то, наприклад, зменшення в'язкості призводить до збільшення витрат робочої рідини. Це обумовлює зменшення перепаду тиску на поршні і відповідно зниження зусилля опору демпфера. Для поліпшення експлуатаційних властивостей демпфера необхідно забезпечити, щоб його планові характеристики не змінювались в широкому діапазоні температур -20…+120 °С [6].

Рідинні демпфери мають певну характеристику, залежність зусилля опору від швидкості руху поршня. Особливо чутливі до впливу температури є демпфери з лінійними характеристиками у яких перетікання робочої рідин в регулюючому елементі здійснюється при ламінарному русі рідини. Зусилля опору для демпфера з лінійними характеристиками визначається наступною математичною залежністю [6]:

$$F = k \cdot v_p, (1)$$

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

Наступним кроком було досліджено в'язкістно-температурна характеристика двотрубного гідравлічного демпфера фірми «Плаза».

Кінематична в'язкість розраховувалась для амартизаторної робочої рідини МГП-12, з густиною 917 кг/м^3 для 20°С (зміна густини при перепаді температур +30 °С складала не більше 2%) за математичною залежністю:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}, (2)$$

де μ-динамічна в'язкість рідини, ρ – густина рідини.

В результаті експерименту була отримана залежність зусилля опору демпфера від в'язкості робочої рідини в діапазоні 0,000035... 0,0001 м^2/с (рис. 1). При цьому, при зміні температури від +20 ° С до +55 ° С зусилля опору демпфера змінилось майже в 2 рази, що є не допустимим та не задовольняє вимоги, у відповідності до по випробуванню демпферів. З цієї причини спочатку раціонально дослідити течію рідини в каліброваних дроселях, за допомогою технічної візуалізації. Отримані результати дали змогу визначити математичну функцію для визначення зусилля опору від кінематичної в'язкості (рис.1).

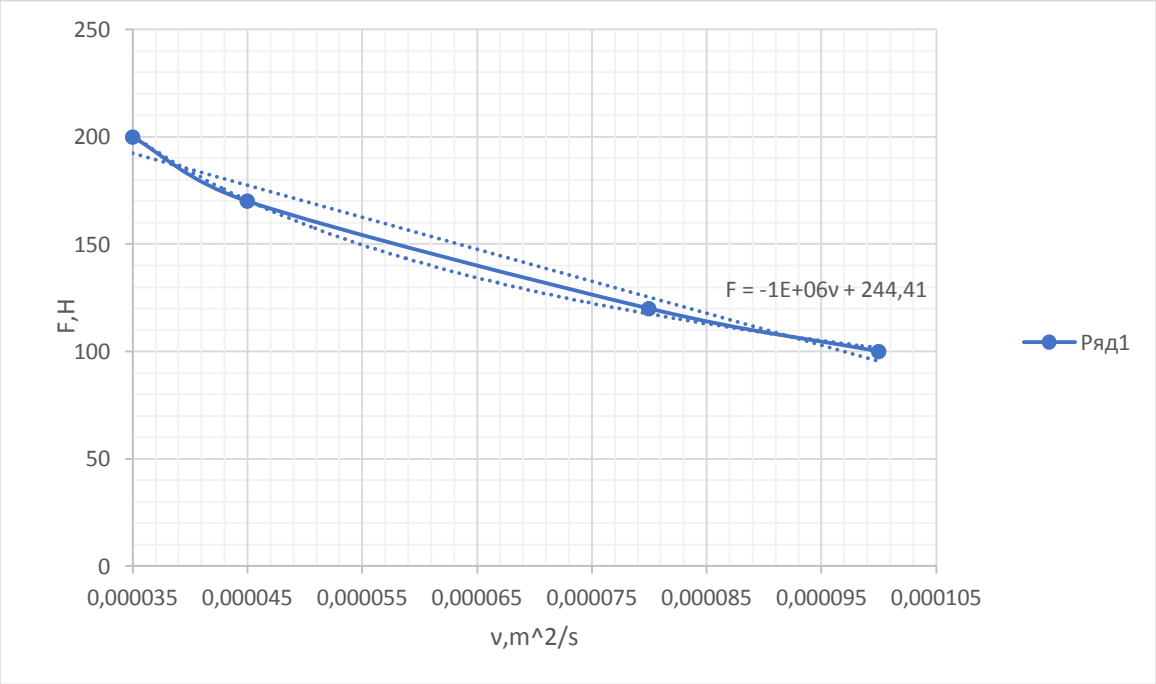

Рис 1-Температурна характеристика демпфера (залежність зусилля опору демпфера при зміні кінематичної в'язкості робочої рідини в діапазоні 0,000035... 0,0001 м^2/с (ω =1,67 Гц, А=± 0,037м, режиму роботи "стиснення")

У загальному випадку в'язкість від температури залежить нелінійно і описується рівнянням Френкеля-Андраде. Рух рідини у каліброваних каналах демпфера може бути представлено щільністю потоку імпульсу (силою внутрішнього тертя між двома шарами газу (рідини), що описується законом Ньютона в який підставимо закон Френкеля-Андраде) [3,5]:

$$I_L = -\mu \frac{du}{dx} = -\mathrm{C}e^{\frac{W}{kt}} \frac{du}{dx}, (3)$$

де, W-енергія активації, kt-середня енергія хаотичного руху, С-коефіцієнт який залежить від інтенсивності коливань, температури, перескоку, $\frac{du}{dx}$- градієнт швидкості, що складає швидкість зміни швидкості в напрямку х, перпендикулярному напрямку руху шарів.

Ньютонівський коефіцієнт в'язкості залежить від температури, тиску та типу речовини: $\mu = f(T, p, \rho)$.

Аналітична залежність μ від Т згідно з дослідженнями Г. М. Панченкова має вигляд [2]:

$$\mu = 3\sqrt{6R} \cdot \sqrt{\frac{\omega_w^2}{N_0}} \cdot \rho^{\frac{4}{3}} \cdot M^{-\frac{5}{4}} \cdot T^{\frac{1}{2}} \cdot e^{-\frac{\varepsilon}{R \cdot T}} \cdot \left(1 - e^{-\frac{\varepsilon}{R \cdot T}}\right)^2 \quad (4)$$

де R - газова постійна; ω_w - власний обсяг молекул в розрахунках на 1г -моль; N_0 - число молекул в об'ємі 1г-моль; M - молекулярна маса; ρ -щільність; ε - енергія зв'язку молекул рідини, яка визначається роботою, яку необхідно затратити, для переміщення на нескінченно великі відстані від її початкового положення (ця робота дорівнює прихованої теплоті випаровування, поділена на половину координатного числа рідини).

В результаті поглибленого аналізу робочих процесів встановлено, що до функціональних недоліків демпфера відносяться: вспінення, кавітація робочої рідини, залежність в'язкості від температури та інерційність робочої рідини.

Висновки. Врахування явища переносу та розглянутих методів моделювання, можливо застосувати для розробки демпферів які працюють в широкій області частот і амплітуд. Поглиблене пізнання явища переносу і врахування неусталених режимів роботи в змінних умовах експлуатації, може бути головним критерієм при проектуванні демпферів з стабільною робочою характеристикою.

Таким чином у відповідності з наведеним підходом розглянуто задачу демпфування у гідравлічному демпфері з змінним коефіцієнтом переносу в'язкості. При зміні температури від +20 ° С до +55 ° С зусилля опору демпфера змінилось майже в два рази, що потребує застосування компенсаційного вузла - «компенсатора» та поглибленого дослідження реологічних моделей та властивостей робочих рідини на синтетичній основі.

Список використаних джерел

1. *Шорин С* . Н . Теплопередача . - М . : Высшая школа, 1964 . - 490 с,
2. *Трофимов В. А. Рабочие* жидкости систем гидропривода / В. А. Трофимов, О. М. Яхно, А. П. Губарев, Р. И.Солонин. – К. : НТУУ «КПИ», 2009. – 184с.
3. *D Raabe (2004)* Overview of the lattice Boltzmann method for nano- and microscale fluid dynamics in materials science and engineering Modelling Simul. Mater. Sci. Eng. -12 (2004) p.13-46.
4. *Bird, R.B., Stewart,* W.E. and Lightfoot, E.N. (August 2001). Transport Phenomena (Second ed.). John Wiley & Sons. ISBN 0-471-41077-2.
5. *Бруяцкий Е. В. Метод* контрольного объема в компьютерной гидродинамике / Е. В. Бруяцкий А. Г. Костин, Е. И. Никифорович - Киев : Милениум, 2016.- 520 с.
6. *I. Nochnichenko and O. Uzunov*, "Characteristics of throttles in hydraulic shock absorber considering temperature changes of fluid", Mech. Adv. Technol., vol. 2, no. 80, pp. 39—44, 2017. doi: 10.20535/2521-1943.2017.80.109169.

УДК 532.551

Носко С. В., к.т.н., доц.
КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ ЛИВНИКА НА ОСНОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРОДИНАМІКИ ПОТОКУ

Анотація. *Проведені експериментальні дослідження кінематичних характеристик в'язкої і аномально-в'язкої рідини в послідовно з єднаних місцевих опорах методом візуалізації. Приведені розрахункові залежності*