

УДК 629.3.01: 621.318.4: 62-404.8

ЗАСТОСУВАННЯ МАГНІТНО-РЕОЛОГІЧНИХ РІДИН В АВТОМОБІЛЬНІЙ ТЕХНІЦІ

Стефановський О. Б., к.т.н., доц.

Таврійський державний агротехнологічний університет

Тел. (0619) 42-04-42

Анотація - проаналізовано інформацію з відкритих джерел про застосування магнітно-реологічних рідин в автомобільній техніці, запропоновано ряд нових шляхів їх застосування.

Ключові слова - магнітно-реологічна рідина, автомобіль, двигун.

Постановка проблеми. В останні десятиліття значно виріс інтерес до магнітно-реологічних рідин (МРР) і з'ясувалося, що вони, як фуллерени й вуглецеві нанотрубки, також належать до нанорозмірних об'єктів.

Аналіз останніх досліджень. МРР є колоїдним розчином, що складається із дрібних феромагнітних часток (розміром порядку 101...102 нм), зважених у воді або органічному розчиннику, і стабілізованим за допомогою поверхнево-активної речовини. У якості матеріалу цих часток використовуються магнетит або ферріти [1]. Більш дешевою альтернативою таким МРР є магнітно-реологічні суспензії, у яких розміри часток можуть перевищувати 1 мкм [2].

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Аналіз шляхів застосування технології МРР в автомобільній техніці; питання одержання МРР висвітлені в спеціальній літературі [2 - 4 і ін.].

Основна частина. Основою застосування МРР у техніці служить висока чутливість магнітних, оптичних і реологічних властивостей МРР до зовнішнього магнітного поля. Цей ефект зберігається в діапазоні температури, який визначається знизу плинністю рідкої фази, а зверху – «точкою Кюрі», при якій МРР втрачає свої магнітні властивості. Реальна верхня температурна границя застосування МРР залежить від теплової стійкості рідкої фази.

Відомими областями застосування МРР є вузли герметизації валів, демпфери коливань, регулятори витрати рідин, звукові сигнали, друкувальні пристрої, мастильні й охолодні матеріали, виконавчі механізми, датчики [3]. У статті [5] згадувалися можливість

використання МРР у перетворювачі енергії коливань тіла в електричну, а також застосування МРР у гірничо-збагачувальних процесах для відділення немагнітних часток кольорових металів.

В автомобільній техніці вже знайшли застосування амортизатори із МРР – у підвісках малосерійних автомобілів моделей Audi TT, Cadillac ATS і ін. [6; 7]. Такі амортизатори (рис. 1) є частиною системи автоматизованого керування (САК) “magnetic ride” підвіскою автомобіля.

Принцип дії такого амортизатора полягає в наступному. Замість звичайної амортизаторної рідини, він заправлений МРР (суспензією). У середині поршня встановлений електромагніт, підключений до бортової електромережі через шток амортизатора й керований контролером САК підвіскою. При включенні струму електромагніт створює магнітне поле в зоні клапанів поршня, що сприяє підвищенню в'язкості МРР. Останнє, у свою чергу, веде до більш плавної роботи амортизатора й перешкоджає вспінюванню рідини. Електромагніти працюють автоматично, відповідно до сигналів датчиків прискорення коліс автомобіля, забезпечуючи безперервне регулювання характеристик амортизаторів.

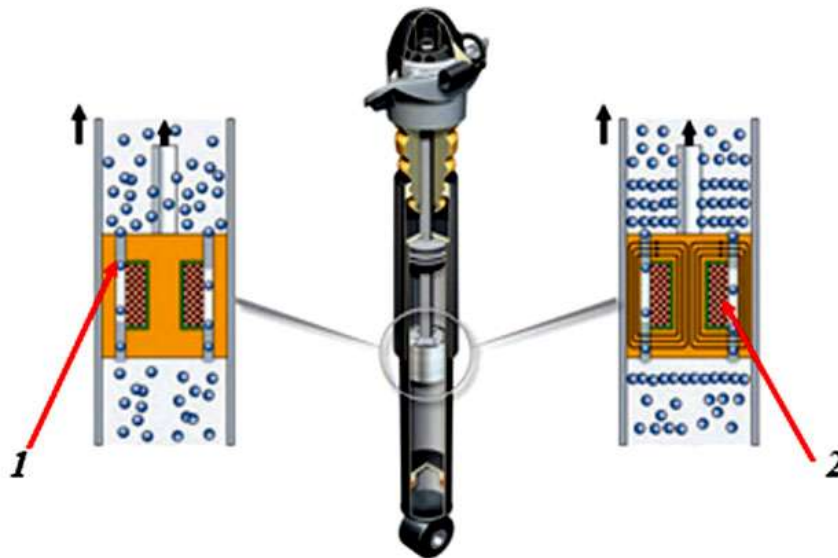


Рис. 1. Схема автомобільного амортизатора із МРР, позначеною сукупністю кульок [8]: ліворуч – струм керування відсутній; праворуч – струм керування поданий; 1 – канал поршня; 2 - котушка.

Серед вітчизняних дослідників конструюванням вузлів автомобільних підвісок, що використовують МРР, займалися, наприклад, Власов А.В. і Комлева О.А. [6], а моделюванням їх роботи — Дущенко В.В. і Грунев С.Г. [9]. Останні виявили, що пружні елементи підвіски із МРР можуть стати істотними споживачами електроенергії при значній величині струму, необхідної для створення відповідної інтенсивності магнітного поля.

Стосовно інших областей застосування МРР в транспортній техніці відомо, що фірмою LORD Corporation випускаються відповідні елементи та вузли для підвісок сидінь і здійснення зворотного зв'язку в системах рульового керування позашляховик транспортних засобів та спеціальних машин [10]. Зокрема, фірмою випускаються вузли здійснення зворотного зв'язку, що забезпечують номінальний крутний момент 5 та 12 Нм [11; 12]. Деякі параметри цих вузлів наведено в табл. 1, а їх навантажувальні характеристики зображено на рис. 2. Як видно, останні можна вважати приблизно лінійними, до того ж враховуючи відхилення крутного моменту від показаних кривих у межах $\pm 10...20\%$.

Таблиця 1 - Основні параметри вузлів здійснення зворотного зв'язку, що виробляються фірмою LORD Corporation

Найменування	Величина для вузла моделі	
	RD-2085-01	RD-2069-01
Робоча температура, °C	-35...+60	-35...+70
Напруга живлення, В: - електродвигуна - датчика	24 4,75...5,25	12 або 24 4,75...5,25
Максимальний струм, А	1,5	1,5
Номінальний крутний момент, Нм (при струму 1,0 А)	5	10
Максимальна частота обертання, 1/хв	120	120
Максимальна бічна сила, Н	1500	1400
Напруженість зовнішнього магнітного поля, А/м	100	100

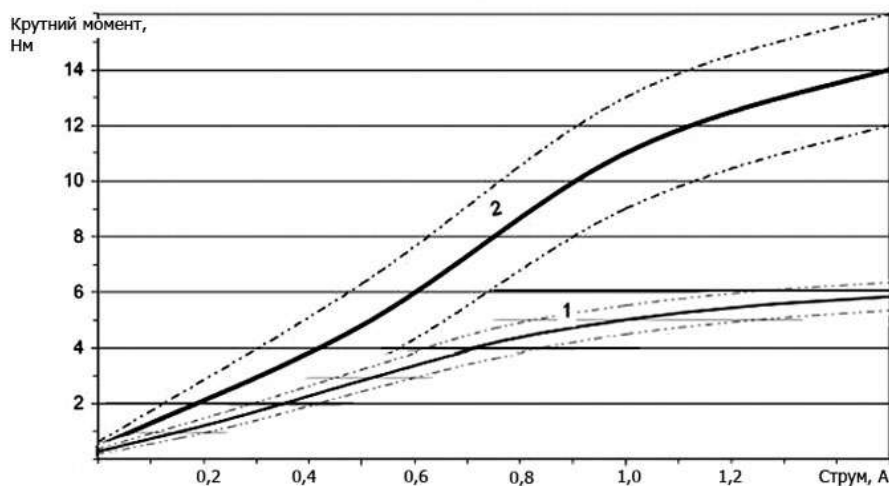


Рис. 2. Навантажувальні характеристики вузлів здійснення зворотного зв'язку: 1 - RD-2085-01; 2 - RD-2069-01

Істотними перешкодами до широкого впровадження МРР в автомобільній техніці є слабка поінформованість інженерів-автомобілістів про нові можливості, надавані МРР у технічних пристроях, і утрудненість електропостачання таких пристроїв штатними генераторними установками при значній величині струму.

Припускаючи, що трохи знизити це енергоспоживання можна було б за рахунок ефекту перетворення коливань кузова автомобіля в електроенергію (наприклад, за допомогою пристроїв [13]), коротко розглянемо інші можливості застосування МРР в автомобільній техніці, крім амортизаторів.

Відповідно до [3], МРР можуть використовуватися для герметизації різних з'єднань у вузлах автомобілів. Доцільне дослідження застосування МРР для герметизації або надійного ущільнення наступних рухливих і рознімних нерухливих з'єднань.

1) Місце проходу обертових валів — колінчастого, розподільного (у поршневому двигуні), первинного, вторинного (у коробці передач) і ін. — через стінки картерів. Витік масла з будь-якого такого місця створює аварійну ситуацію й у багатьох випадках усувається тільки після значного обсягу розбірно-складальних робіт, не говорячи вже про забруднення навколишнього середовища.

2) Поршнів у циліндрах двигуна — насамперед, при пуску холодних двигунів, особливо дизелів. Підвищений витік заряду суттєво утрудняє пуск дизеля [14], а її усунення відчутно знизило б температурну межу надійного пуску. Невисока температура деталей холодного двигуна допускає застосування МРР на основі органічної рідини в сполученні поршень — циліндр. Після прогріву двигуна до певної температури, коли частоту обертання колінчастого вала можна збільшувати від мінімальної, МРР необхідно якимось способом вивести із цих сполучень і зібрати для використання при наступному пуску.

3) Різних прорізів у кабінах і кузовах автомобілів, особливо спеціального призначення, що працюють на забруднених територіях і т.п. Закритий проріз — вікно, двері або люк — ущільнюється МРР зі зниженої (але не занадто) в'язкістю, а при відкритті прорізу в'язкість цієї МРР потрібно різко підвищити, щоб уникнути її стікання.

4) Посадки покриток (шин) на колісних ободах або дисках і герметизації тріщин, що утворюються в останніх, особливо литих. Це дозволить: ширше застосовувати безкамерні шини і суттєво знизити залежність їх герметичності від наявності ушкоджень посадкових поверхонь ободів або дисків; уникати аварій при утворі тріщин в останніх, тому що МРР із підвищеною в'язкістю, певною мірою, «зв'язує» береги тріщини й дає можливість, принаймні, безпечно знизити швидкість автомобіля й зупинитися.

Якщо будуть розроблені високотеплостійкі рідкі фази МРР, то, можливо, буде створена працездатна конструкція поршня, що не вимагає кілець для ущільнення в циліндрі. Ідея такої конструкції [15] вже висувалася для застосування в «гарячому» циліндрі двигуна Стирлінга, але для ущільнення поршня пропонувалося обмеження протікання робочого газу за рахунок динамічної зміни зазору між поршнем і гільзою циліндра під дією мінливих навантажень і температур деталей. Ясно, що зробити таку працездатну конструкцію нелегко навіть для вузького інтервалу робочих параметрів.

Застосування достатньо теплостійкої МРР може радикально спростити завдання ущільнення поршня в циліндрі теплового двигуна, забезпечивши в той же час майже повну ліквідацію протечки робочого середовища. Основою такої МРР може бути, наприклад, синтетичне моторне масло, а якщо його теплостійкість виявиться недостатньою, то є інший органічний теплоносій: так, перфторбензол і перфторгексан можуть застосовуватися при температурі до 420...430 °С [16]. Застосуванню цієї МРР для герметизації «газового стику» – з'єднання головки й блоку циліндрів двигуна – поки перешкоджає недостатня статична твердість шару МРР.

Ідея ущільнення поршня в циліндрі полягає в тому, що зазор навколо поршня, що рухається, заповнюється порівняно малов'язкою МРР, а в періоди низьких швидкостей і зупинок поршня в'язкість МРР у цьому зазорі повинна суттєво підвищуватися. Для цього утворюється магнітне поле уздовж поверхні циліндра, періодично регульоване синхронно рухам поршня за допомогою сигналів від датчиків його положення. Бажане, щоб тертя, надаване МРР у зазорі близько поршня, стало в середньому помітно меншим, чим тертя звичайного комплекту поршневих кілець. Для додаткового зниження тертя можуть бути доцільні або зменшення довжини напрямної частини поршня, або скорочення зони, заповненої МРР у зазорі близько поршня (зокрема, за рахунок організації двох-трьох «поясів» із МРР). Однак останнє може утруднити відвід теплоти від поршня в гільзу циліндра.

У літературі [3; 5] відзначалася можливість використання МРР у пристроях керування гідравлічних систем, тому доцільний пошук відповідних технічних розв'язків для таких транспортних гідросистем, як рульове керування, гальмова, робоче й додаткове встаткування.

Враховуючи, все-таки, незвичність пропонованих технічних напрямків і незвичайність властивостей МРР, слід дати пріоритет комп'ютерному моделюванню відповідних технічних розв'язків. Так, Ю.Б. Казаковым запропонована модель «магнитожидкостного герметизатора» - пристрою, що містить заповнений МРР зазор між обертовим валом і стінкою корпусної деталі [17]. МРР у цьому зазорі

утворює так звану магніторідинну «пробку», що ущільнює дане з'єднання. Досить важливу роль тут відіграє тепловиділення, що залежить як від інтенсивності грузлого тертя МРР, так і від інтенсивності магнітного поля. МРР у зазорі вал – стінка повинна чинити достатній опір видавлюванню тиском середовища, що перебуває усередині корпусу. У роботі [17] досліджені діапазони швидкостей зрушення 80...40000 1/с і динамічної в'язкості магнітної рідини 28...81 Па·с.

Як показав В.С. Менделев [18], відомі моделі МРР не позбавлені істотних недоліків, тому спочатку саму МРР потрібно адекватно моделювати, як фізичний об'єкт. Так, А.В. Теплухін [19] моделював методом Монте-Карло структуру ідеалізованої магнітної рідини на основі трансформаторного масла (з 10 і 25% наночасток) при кімнатній температурі й показав, що рівноважна структура цієї рідини суттєво залежить від змісту наночасток у ній.

Висновок. В автомобільній техніці знайшли обмежене застосування амортизатори із МРР, як складові частини автоматизованої підвіски.

Враховуючи перспективність розширення застосування різних МРР у вузлах автомобільної техніки, доцільно досліджувати (насамперед, за допомогою моделювання) і розробити конструкції герметизованих ущільнень із МРР: валів поршневих двигунів і агрегатів трансмісій; поршнів у циліндрах; прорізів у кабінах і кузовах автомобілів; посадки покришок на ободах або дисках коліс.

Для створення конструкцій перспективних теплових двигунів, необхідна розробка МРР на основі високотеплостійкої рідкої фази (наприклад, перфторвуглеців), що дозволить підійти до реалізації безкільцевого ущільнення поршнів у циліндрах двигуна.

Література:

1. *Мулькова, К.* Магнитные жидкости – технологии будущего: [Електронний ресурс] / К. Мулькова, Е. Семенова. - Б.г. - 30 с. - Режим доступу :
http://idpe.ntmdt.ru/data/attachments/165153/73/Магнитные%20жидкости_Исследовательская%20работа.pdf. - (Матеріали доповіді на I Всеросійському конгресі молодих учених, СПб., 10-13 квітня 2012 р.)
2. *Байбуртский Ф.С.* Магнитные жидкости: способы получения и области применения : [Електронний ресурс]. - Режим доступу :
<http://magneticliquid.narod.ru/authority/008.htm>.
3. *Такетоми, С.* Магнитные жидкости / С. Такетоми, С. Тикадзуми. - М.: Мир, 1993. - 272 с.

4. *Мошников В.А.* Наноматериалы специальной техники : Учебно-методический комплекс / В.А. Мошников, Ю.М. Спивак. - СПб.: Изд. СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2011. - 268 с.
5. *Сенатская, И.* Магнитная жидкость / И. Сенатская, Ф. Байбуртский : [Электронный ресурс] // Наука и жизнь. - 2002. - №11. - Режим доступа : <http://www.nkj.ru/archive/articles/4971/> .
6. *Власов, А.В.* Интеллектуальный магнитожидкостный амортизатор для автомобиля / А.В. Власов, О.А. Комлева : [Электронный ресурс]. - Б.г. - 4 с. - Режим доступа : ehd.pmf.ru/articles/pdfs/5_43.pdf . - (Статья опубликована в збірнику праць ІХ Міжнародної наукової конференції "Современные проблемы электрофизики и электрогидродинамики жидкостей", СПб., 2009.)
7. *Крамаренко, Н.* Cadillac ATS – новый уровень управляемости и роскоши / Н. Крамаренко. - 01.09.2012. - Режим доступа : http://media.gm.com/media/ru/ru/cadillac/news.detail.html/content/Pages/news/ru/ru/2012/cadillac/01_09_cadillac-ats.
8. Диагностика ауди. Ходовая ТТ : [Электронный ресурс]. - Режим доступа : <http://autoxit.ru/hodtt.html>.
9. *Дущенко, В.В.* Оценка энергопотребления систем управления характеристиками упругих элементов подвески на основе магнито-реологических жидкостей / В.В. Дущенко, С.Г. Грунев // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». - Харків, 2010. - Вип. 38. - С. 16-19.
10. *Toscano, J.* Magnetorheological Fluid Technology for Vehicle Applications / J. Toscano, S. Shutto. - LORD Corporation, 2005. - 4 p.
11. *LeRoy, D.F.* MR Technology, Tactile Feedback and Application to By-Wire Systems: Tips For Success / D.F. LeRoy. - LORD Corporation, 2005. - 7 p.
12. Tactile Feedback Device Product Bulletin. Magneto-Rheological Technology / LORD Corporation. - 2005. - 2 p.
13. Магнитный амортизатор-генератор для автомобиля : [Электронный ресурс]. - 2010. - Режим доступа : <http://www.amtc.ru/news/world/2583/>.
14. Тракторные дизели. Справочник / *Б.А. Взоров* [и др.]. - М.: Машиностроение, 1981. - 536 с.
15. *Стефановський, О.Б.* Двигун із зовнішнім підводом теплоти / *О.Б. Стефановський, В.О. Дорус*. - Пат. України № 50395А. - Опубл. 15.10.2002, бюл. № 10.
16. Негорючие теплоносители и гидравлические жидкости. Справочное руководство / *А.М. Сухотин* [и др.]. - Л.: Химия, 1979. - 360 с.
17. *Казаков Ю.Б.* Численное моделирование распределения скоростей течения нелинейной нанодисперсной магнитной жидкости в зазоре герметизатора с неоднородным магнитным полем : [Электронный

ресурс]. - Режим доступу : <http://ispu.ru/files/25-27.pdf> . - (Стаття опублікована в «Вестнике ИГЭУ», 2008, вип. 3.)

18. *Менделев В.С.* Магнитные свойства феррожидкостей с цепочечными агрегатами : Автореф. дис... канд. физ.-мат. наук : 01.04.11. -Екатеринбург, 2009. - 19 с.

19. *Теплухин, А.В.* Суперкомпьютерное моделирование магнитных жидкостей / *А.В. Теплухин* : [Електронний ресурс]. - Режим доступу : <http://hpc-russia.ru/book3/21.pdf> . - (Стаття опублікована в збірнику праць «Суперкомпьютерные технологии в науке, образовании и промышленности», М.: Изд. МГУ, 2012.)

ПРИМЕНЕНИЕ МАГНИТНО-РЕОЛОГИЧЕСКИХ ЖИДКОСТЕЙ В АВТОМОБИЛЬНОЙ ТЕХНИКЕ

Стефановский А.Б.

Аннотация - проанализированы информацию из открытых источников о применении магнитно-реологических жидкостей в автомобильной технике, предложен ряд новых путей их применения.

WAYS OF USAGE OF THE TECHNOLOGY OF MAGNETIC RHEOLOGICAL FLUIDS IN AUTOMOTIVE ENGINEERING

A. Stefanovsky

Summary

Published evidence on magnetic rheological fluids is analyzed and possibilities of their usage in automotive engineering are proposed.