

МЕХАТРОНИКА

УДК 629.114.2

АНАЛІЗ ПОТУЖНОСТІ ДИСИПАТИВНИХ СИЛ У ПІДВІСЦІ
ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ

С.П. Рожков, аспірант, ХНАДУ

Анотація. Розглянуто питання визначення потужності, яку можна повернути до системи електропостачання за рахунок рекуперації вертикальних коливань підвіски електромобіля при русі по дорозі з випадковим мікропрофілем.

Ключеві слова: електромобіль, випадковий мікропрофіль, збурювальний вплив, вертикальні коливання, двомасова модель.

АНАЛИЗ МОЩНОСТИ ДИССИПАТИВНЫХ СИЛ В ПОДВЕСКЕ
ЭЛЕКТРОМОБИЛЯ

С.П. Рожков, аспирант, ХНАДУ

Аннотация. Рассмотрен вопрос определения мощности, которую можно возратить в систему электроснабжения за счет рекуперации вертикальных колебаний подвески электромобилей при движении по дороге со случайным микропрофилем.

Ключевые слова: электромобиль, случайный микропрофиль, возмущающее воздействие, вертикальные колебания, двухмассовая модель.

THE ANALYSIS OF CAPACITY DISSIPATIVE FORCES IN THE
ELECTROMOBILE SUSPENDER

S. Rozhkov, postgraduate, KhNAHU

Abstract. The question of capacity definition which can be returned in the electrical supply system at the expense of vertical fluctuations of the electromobile suspension, at movement on road with a casual microcross-section is considered.

Keywords: electromobile, casual microcross-section, revolting influence, vertical fluctuations, two-mass model.

Вступ

В останні роки все важливішою стає проблема розробки та впровадження у масове використання електромобілів. Це питання найближчої перспективи. Міжнародні автоконцерни вже сьогодні почали випуск серійних електромобілів.

Найголовнішим фактором, який робить електромобіль більш вигідним вже сьогодні, є постійно зростаюча вартість нафтопродуктів. Крім цього, є багато додаткових факторів, які впливають на вибір суспільства на користь електромобіля, наприклад, екологічна безпечність електромобіля, що

має місце завдяки відсутності шкідливих викидів у зовнішнє середовище.

Керівництво розвинутих країн стимулює розвиток цього напрямку: приймаються державні загально національні програми з підтримки розвитку електротранспорту, надаються пільги як підприємствам з виробництва електромобілів, так і власникам цього виду транспорту.

Одним з найважливіших аспектів експлуатації електромобілів є забезпечення максимального запасу ходу. Цього досягають збільшенням ємності акумуляторних батарей, встановлених на електромобілі. Отже

економія енергії, запасена у АКБ, є однією із найважливіших задач експлуатації електромобіля. Одним зі способів економії електричної енергії є рекуперація механічної енергії при русі електромобіля в електричну.

Одним із джерел механічної енергії, яка циркулює в системі електромобіль – дорога, є енергія вертикальних коливань електромобіля, яка залежить від масогабаритних параметрів електромобіля та статистичних параметрів мікропрофіля дороги, по якій він рухається.

Отже оцінка кількості механічної енергії, яка розсіюється підвіскою при вертикальних коливаннях електромобіля при русі по різних типах дорожньої поверхні, дозволить виявити потенційну кількість електроенергії, яку можна повернути у бортову мережу.

Аналіз публікацій

На сьогодні розробники електромобілів впроваджують різні засоби рекупіювання механічної енергії в електричну. Наприклад, одним з напрямів є рекупіювання енергії гальмування, як це робить компанія Toyota у гібридному автомобілі Toyota Prius [1]. Цей самий спосіб рекуперації реалізовано компанією BMW у технології Efficient-Dynamics [2]. Подібні вирішення задачі зустрічаються у багатьох розробників автомобілів. Але цей спосіб дозволяє рекупіювати енергії лише у режимі гальмування.

Щодо рекупіювання енергії вертикальних коливань, то роботи в цьому напрямі ведуться, але в основному в напрямі створення складних механічних пристроїв, які не використовуються у сучасних електромобілях та гібридних автомобілях. Наприклад, дослідницький підрозділ Ейндховенського технологічного університету анонсував діючий зразок електромагнітної підвіски з можливістю рекуперації [3]; схожий пристрій розроблено фірмою Bose [4].

Але ці дослідження, судячи з публікацій, направлені на створення конкретних конструкцій і не носять теоретично обґрунтованого характеру, оскільки не розглядаються теоретичні питання, пов'язані з оцінкою потенційної кількості енергії, яку можна повернути у бортову електричну мережу.

Мета і постановка задачі

Оскільки важливим аспектом підвищення енергоефективності електромобіля є мінімізація витрат енергетичних запасів АКБ, то вирішення задачі визначення потенційно можливої кількості енергії, що може бути повернута у бортову електричну мережу за рахунок рекуперації енергії вертикальних коливань підвіски автомобіля, є достатньо актуальним.

Для цього необхідно провести дослідження залежності величини потужності, що розсіюється в елементах підвіски, масогабаритних параметрів електромобіля, швидкості руху та характеру дорожньої поверхні.

Основні матеріали досліджень

Дослідження, які було проведено професором Хачатуровим А.А. [5], дозволили визначити, що енергія вертикальних коливань, яка перетворюється амортизаторами на тепло, дорівнює

$$m_{Na} = r_p D_{\delta_p}, \quad (1)$$

де r_p – загальний коефіцієнт опору амортизаторів осі; D_{δ_p} – дисперсія швидкості взаємних переміщень підресореної та непідресореної маси.

За розрахункову модель електромобіля було взято двомасову динамічну модель [6], приведена на рис. 1.

З досліджень [5] відомо, що вертикальні коливання автотранспортного засобу в поздовжній площині можуть бути описані системою диференціальних рівнянь

$$\begin{cases} \ddot{z} + 2h_0\dot{z} + \omega_0^2 z - 2h_0\dot{\zeta} - \omega_0^2 \zeta = 0, \\ \ddot{\zeta} + 2h_{k0}\dot{\zeta} + \omega_k^2 \zeta - 2h_{k0}\dot{z} - \bar{\omega}_0^2 z = \bar{\omega}_k^2 q(t), \end{cases} \quad (2)$$

де $\omega_0^2 = \frac{2c_p}{M}$, $\omega_k^2 = \frac{2(c_{ш} + c_p)}{m}$, $\bar{\omega}_k^2 = \frac{2c_{ш}}{m}$ –

квадрати парціальних частот; $h_0 = \frac{r_p}{M}$,

$h_{k0} = \frac{r_p}{m}$ – парціальні значення затухання;

z – переміщення підресореної маси; ζ – переміщення непідресореної маси; M – підресорена маса; m – непідресорена маса;

c_p – жорсткість ресор осі; $c_{\text{ш}}$ – жорсткість шин осі; r_p – зведений коефіцієнт опору амортизаторів осі; $q(t)$ – збурювальний вплив.

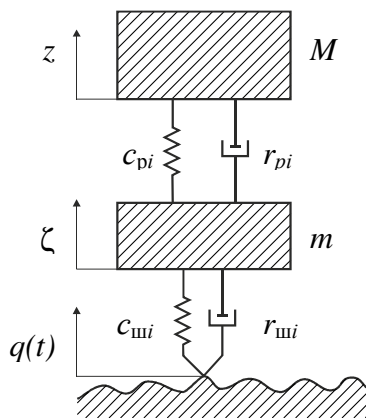


Рис. 1. Двомасова розрахункова схема M – підресорена маса; m – непідресорена маса; c_{pi} – загальна жорсткість ресори на i -й осі; r_{pi} – загальний коефіцієнт опору амортизатора; c_{shi} – загальна жорсткість шин на i -й осі; r_{shi} – загальний коефіцієнт опору шин; z – переміщення підресореної маси; ζ – переміщення непідресореної маси; $q(t)$ – збурювальний вплив

Величина $r_{\text{ш}}$ на результат дослідження суттєво не впливає, а тому при складанні системи рівнянь приймається рівною нулю [5].

Послідовні перетворення наведеної системи рівнянь в операторній формі дозволили одержати передаточну функцію $H(j\omega)$ відносно різниці переміщень підресореної та непідресореної мас. Величина збурювального впливу визначається мікропрофілем дороги, що є величиною випадковою, та характеризується спектральною щільністю дисперсії $K_q(\omega)$.

Пошук дисперсії випадкового процесу на виході лінійної динамічної системи пов'язаний з обчисленням невластивого інтеграла

$$D = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} |H(j\omega)|^2 K_q(\omega) d\omega, \quad (3)$$

де $|H(j\omega)|^2$ – квадрат модуля передатної функції системи; $K_q(\omega)$ – спектральна щільність збурювального впливу.

Спектральна щільність мікропрофілю як регулярного випадкового процесу апроксимується дрібно-раціональною функцією, то-

му спектральна щільність дисперсії збурювального впливу для самого загального випадку має вигляд

$$K_q(\omega) = D_0 v_a \frac{\omega^2 + \omega_1^2}{\omega^2 (\omega^2 + \omega_2^2)}, \quad (4)$$

де $\omega_1 = v_a \lambda_1$; $\omega_2 = v_a \lambda_2$; λ_1, λ_2 – дорожні частоти.

Отже, обчисливши інтеграл (3), можна отримати значення дисперсії швидкості взаємних переміщень підресореної та непідресореної маси [4].

$$D_{\delta_p} = \frac{D_0 v_a c_{\text{ш}}}{2 r_p} \left[1 + (\omega_1^2 - \omega_2^2) \frac{\Delta_3}{\Delta_0} \right], \quad (5)$$

де $\Delta_3 = M m \omega_2^2 + (M + m) \omega_2 r_p + (M + m) c_p$;
 $\Delta_0 = M m \omega_2^4 + (M + m) \omega_2^3 r_p + M c_{\text{ш}} \omega_2^2 +$
 $+(M + m) \omega_2^2 c_p + \omega_2 r_p c_{\text{ш}} + c_p c_{\text{ш}};$
 $r_p = \Psi \sqrt{M c_p}.$

Отже, визначивши r_p та D_{δ_p} , вирахуємо потужність, яка розсіюється амортизаторами електромобіля. Для розрахунку візьмемо параметри електромобіля «Think City», які наведено у табл. 1.

Таблиця 1 Масогабаритні параметри електромобіля

Параметр	З пасажирами	Без пасажирів
Підресорена маса на передній осі, кг*с ² /см	0,59	0,457
Підресорена маса на задній осі, кг*с ² /см	0,605	0,338
Непідресорена маса на передній осі, кг*с ² /см	0,058	0,058
Непідресорена маса на задній осі, кг*с ² /см	0,092	0,092
Жорсткість ресор передньої осі, кг/см	42	42
Жорсткість ресор задньої осі, кг/см	36	36
Жорсткість шин передньої осі, кг/см	310	310
Жорсткість шин задньої осі, кг/см	380	380
Коефіцієнт аперіодичності коливань передньої осі	0,2	0,2
Коефіцієнт аперіодичності коливань задньої осі	0,2	0,2

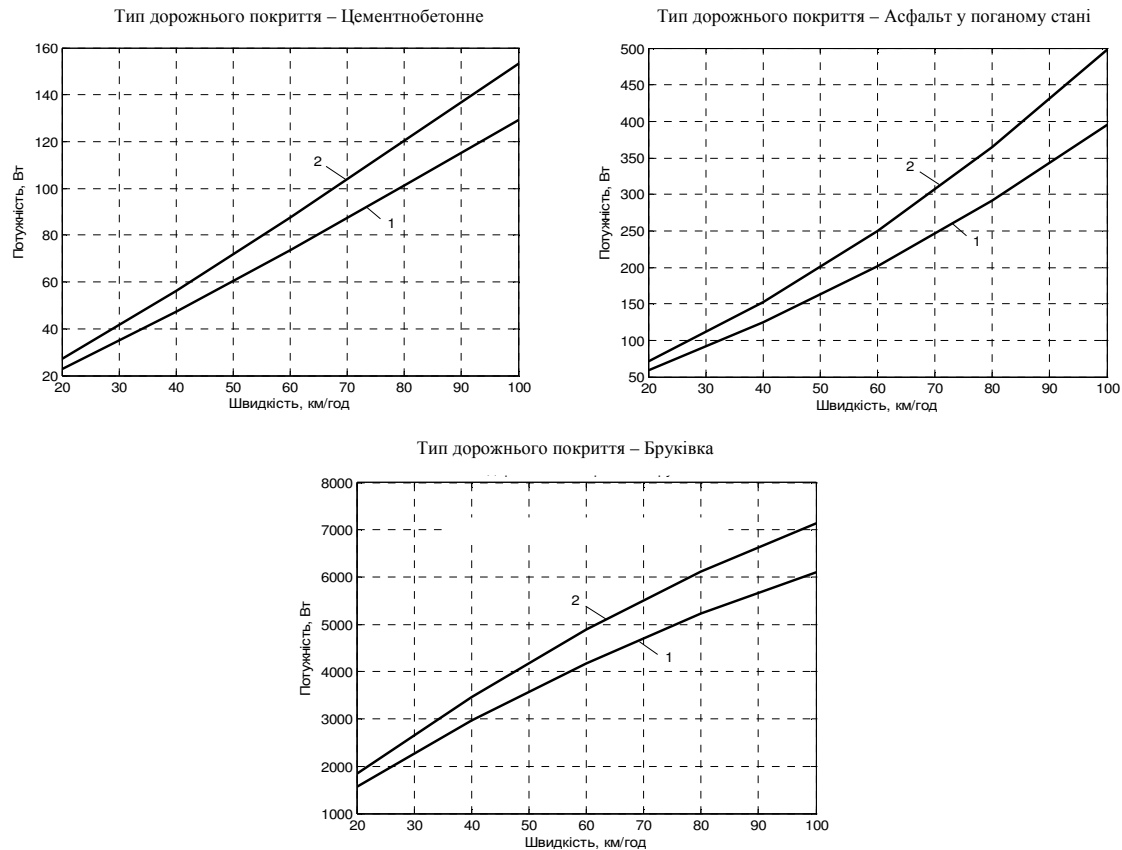


Рис. 2. Залежність розсіюваної амортизаторами енергії від типу дорожнього покриття для електромобіля без пасажирів (1) та з пасажирями (2)

Параметри дорожнього покриття наведено в табл. 2.

Таблиця 2 Статистичні характеристики мікропрофіля автомобільних доріг

Тип покриття дороги	D_0 , см	λ_1 , рад/см	λ_2 , рад/см
Бруківка	$8,68 \cdot 10^{-2}$	$4,3 \cdot 10^{-4}$	$1,05 \cdot 10^{-2}$
Асфальт у поганому стані	$3,11 \cdot 10^{-3}$	$7,1 \cdot 10^{-3}$	$2,3 \cdot 10^{-3}$
Цементобетон	$1,17 \cdot 10^{-3}$	$3,32 \cdot 10^{-2}$	$2,94 \cdot 10^{-2}$

Результати обчислень наведено на рис. 2.

Аналіз отриманих графіків показує суттєву залежність потужності, що розсіює амортизатор, від типу покриття дороги та швидкості.

Висновки

Проведені дослідження показали, що величина потужності, що розсіює амортизатор, змінюється в широкому діапазоні – від середніх значень 100 Вт (цементобетонне покриття) до 5000 Вт (бруківка). Типи дороги: цементобетонна автодорога; асфальтова автодорога у поганому стані та бруківка – є найбільш розповсюдженими для нашої країни.

Це значить, що рекуперація енергії має сенс практично в будь-яких умовах руху.

Таким чином, використання рекуперації енергії вертикальних коливань в електричну енергію бортової мережі є перспективним напрямом підвищення енергоефективності електромобіля.

Література

1. <http://www.toyota.ua>
2. <http://www.bmw.ua>
3. <http://3dnews.ru>
4. <http://bose.com>
5. Хачатуров А.А. Динамика системы дорога – шина – автомобиль – водитель. / А.А. Хачатуров. – М.: Машиностроение, 1976 – 536 с.
6. Ротенберг Р.В. Подвеска автомобиля / Р.В. Ротенберг. – М.: Машиностроение, 1972. – 392 с.

Рецензент: В.П. Волоков, професор, д.т.н., ХНАДУ.

Стаття надійшла до редакції 28 березня 2012 р.