

ОЦІНКА ПОТУЖНОСТІ, РОЗСИВАНОЇ АМОРТИЗАТОРАМИ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ НА ДОРОЗІ З ВИПАДКОВИМ МІКРОПРОФІЛЕМ

С.Е. Рожкова, доцент, к.т.н., ХНАДУ, С.П. Рожков

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, збурюючий вплив, вертикальні коливання, двомасова модель.

ОЦЕНКА МОЩНОСТИ, РАССЕЙВАЕМОЙ АМОРТИЗАТОРАМИ ЭЛЕКТРОМОБИЛЯ НА ДОРОГЕ СО СЛУЧАЙНЫМ МИКРОПРОФИЛЕМ

С.Э. Рожкова, доцент, к.т.н., ХНАДУ, С.П. Рожков

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

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

ESTIMATION OF THE CAPACITY DISSIPATED BY ABSORBERS OF THE ELECTROMOBILE ON ROAD WITH THE CASUAL MICROCROSS-SECTION

S. Rozhkova, assistant professor, cand. eng. sc., KhNAHU, S. Rozhkov

Abstract. The question of definition of capacity which it is possible to return in electrical supply system for a set recuperation of vertical fluctuations of a suspender of an electromobile at movement on road with a casual microcross-section is considered.

Keywords: an electromobile, the 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 – постійно зростаюча вартість нафтопродуктів.

Одним з найважливіших аспектів експлуатації електромобілів є забезпечення максимального запасу ходу. Цього досягають збільшенням ємності акумуляторних батарей, які встановлені на електромобілі. Отже, економія енергії, яка запасена у АКБ є однією із найважливіших задач експлуатації електромобіля. Одним способів економії електричної енергії є рекуперація механічної енергії при русі електромобіля у електричну енергію. Одним з джерел механічної енергії, яка циркулює в системі електромобіля - дорога, є енергія вертикальних коливань електромобі-

ля. Отже, оцінка кількості механічної енергії, яка розсіюється підвіскою при вертикальних коливаннях електромобіля за руху 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 у електричну. Наприклад одним з напрямків є рекупіювання енергії гальмування, як це робить компанія Toyota у гібридному автомобілі Toyota Prius [1].

Що до рекупіювання енергії вертикальних коливань, то роботи в цьому напрямку ведуться, але в основному в напрямку створення складних механічних пристроїв, які не використовуються у сучасних електромобілях та гібридних автомобілях. Наприклад, дослідницький підрозділ Ейндховенського технологічного університету [2] анонсував діючий зразок електромагнітної підвіски з можливістю рекуперації механічної енергії у електричну, схожий пристрій розроблено фірмою Bose [3].

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, що може бути повернуто у бортову електричну мережу.

Мета та 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 досить актуальною задачею.

Для цього необхідно провести дослідження залежності величини потужності, що розсіюється у елементах підвіски, масо-габаритних параметрів електромобіля, швидкості руху та характеру дорожньої поверхні.

Основні матеріали досліджень

Дослідження, що були проведені проф. Хачатуровим А.А. [4], 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 вісі; D_{δ_p} - дисперсія швидкості взаємних переміщень підресореної та не підресореної маси.

За розрахункову модель електромобіля приймається двомасова динамічна модель [4] приведена на рис. 1.

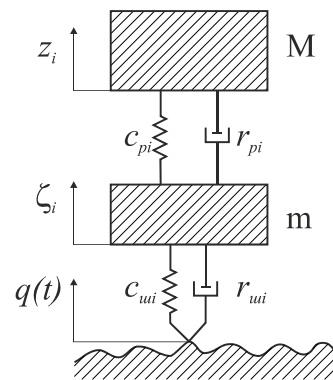


Рис. 1. Двомасова розрахункова схема: M – підресорена маса; m – не підресорена маса; c_{pi} – загальна жорсткість ресори на i -ої вісі; r_{pi} – загальний коефіцієнт опору амортизатора; c_{ui} – загальна жорсткість шин на i -ої вісі; r_{ui} – загальний коефіцієнт опору шин; z – переміщення підресореної маси; ζ – переміщення не підресореної маси; $q(t)$ – збуджуючий вплив.

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

$$\begin{cases} \ddot{z} + 2h_0\dot{z} + \omega_0^2 z - 2h_0\dot{\zeta} - \omega_0^2 \zeta = 0, \\ \ddot{\zeta} + 2h_k\dot{\zeta} + \omega_k^2 \zeta - 2h_{k0}\dot{z} - \bar{\omega}_k^2 z = \bar{\omega}_k^2 q(t), \end{cases} \quad (1)$$

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

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; $c_{ш}$ - жорсткість шин осі; r_p - зведений коефіцієнт опору амортизаторів осі; $q(t)$ – збурюючий вплив.

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

Послідовні перетворення наведеної системи рівнянь в операторній формі дозволило одержати передаточну функцію $H(j\omega)$ відносно різності переміщень підресореної та непідресореної мас.

Величина збурюючого 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 невласного інтеграла

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

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

Спектральна щільність мікропрофілю, як регулярного випадкового, процесу апроксимується дрібно-раціональною функцією, тому спектральна щільність дисперсії збурюючого впливу для самого загального випадку має вид

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

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

Отже, обчисливши інтеграл (2) можна отримати значення дисперсії швидкості взаємних

переміщень підресореної та не підресореної маси [4].

$$D_{\delta_p} = \frac{D_0 v_a c_{ш}}{2r_p} \left[1 + (\omega_1^2 - \omega_2^2) \frac{\Delta_3}{\Delta_0} \right], \quad (3)$$

де $\Delta_3 = Mm\omega_2^2 + (M+m)\omega_2 r_p + (M+m)c_p$;

$$\Delta_0 = Mm\omega_2^4 + (M+m)\omega_2^3 r_p + Mc_{ш}\omega_2^2 + (M+m)\omega_2^2 c_p + \omega_2 r_p c_{ш} + c_p c_{ш}$$

$$r_p = \psi \sqrt{Mc_p}.$$

Отже, визначивши r_p та D_{δ_p} вирахуємо потужність, яка розсіюється амортизаторами електромобіля.

Для розрахунку візьмемо параметри електромобіля «Think City», які наведено у таблиці 1. Параметри дорожнього покриття наведено в таблиці 2.

Таблиця 1 Масагабаритні параметри електромобіля

Параметри електромобіля	Електромобіль
Підресорена маса, що приходить на передню вісь, кг*с ² /см	0,59
Підресорена маса, що приходить на задню вісь, кг*с ² /см	0,605
Непідресорена маса, що приходить на передню вісь, кг*с ² /см	0,058
Непідресорена маса, що приходить на задню вісь, кг*с ² /см	0,092
Жорсткість ресор передньої вісі, кг/см	42
Жорсткість ресор задньої вісі, кг/см	36
Жорсткість шин передньої вісі, кг/см	310
Жорсткість шин задньої вісі, кг/см	380
Коефіцієнт аперіодичності коливань передньої вісі	0,2
Коефіцієнт аперіодичності коливань задньої вісі	0,2

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 наведені на рис.2-6.

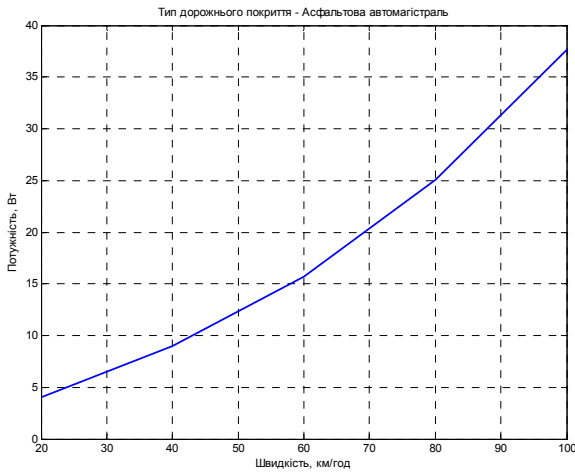


Рис. 2. Розсіювання енергії амортизаторами електромобіля на асфальтовій автомагістралі

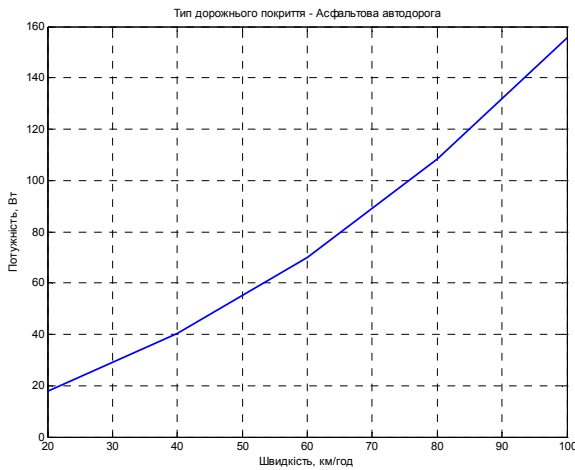


Рис. 3. Розсіювання енергії амортизаторами електромобіля на асфальтовій автодорозі

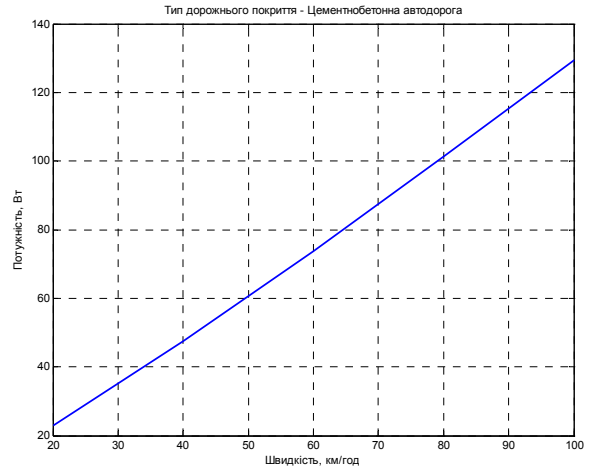


Рис. 4. Розсіювання енергії амортизаторами електромобіля на цементнобетонній автодорозі

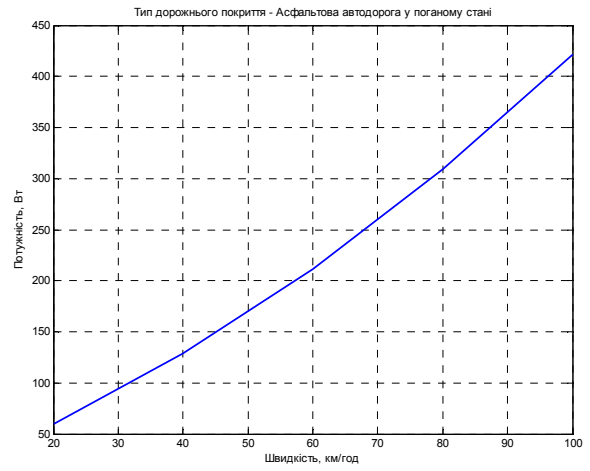


Рис. 5. Розсіювання енергії амортизаторами електромобіля на асфальтовій автодорозі у поганому стані

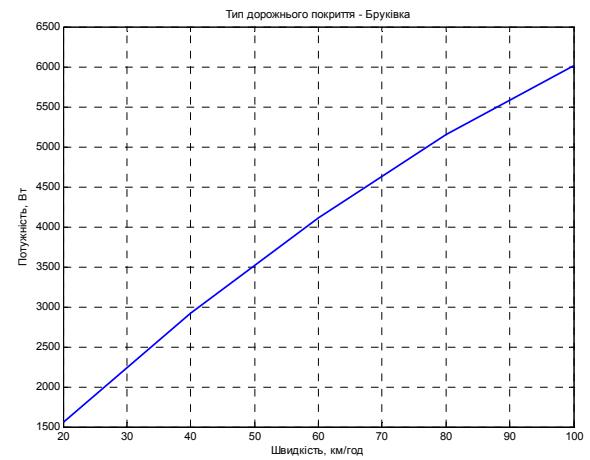


Рис. 6. Розсіювання енергії амортизаторами електромобіля на бруківці

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

Висновки

Проведенні 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: цементнобетонна 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

напрямком підвищення енергоефективності електромобіля.

Література

1. <http://www.toyota.ua>
2. <http://3dnews.ru>
3. <http://bose.com>
4. Хачатуров А.А. Динамика системы дорога – шина – автомобиль – водитель. – М.: Машиностроение, 1976 – 535с.
5. Ротенберг Р.В. Подвеска автомобиля. – М.: Машиностроение, 1972 – 392с.

Рецензент: О.В. Бажинов, професор, д.т.н., ХНАДУ.

Стаття поступила в редакцію 25 жовтня 2011 р.