

УДК 629.027

Новиков А. О.

Кафедра автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів

РЕКУПЕРАТИВНИЙ АМОРТИЗАТОР ВІБРАЦІЙНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ХОДОВОЇ ЧАСТИНИ ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ

Анотація. В даній статті розглянуто енергетичні параметри рекуперативного амортизатора, який використовується в транспортних засобах з використанням п'єзоефекту. Розглянута науково-технічна проблема, яка, полягає в визначенні характеру негативного впливу зовнішніх збурень різного виду на функціонування елементів конструкції транспортних засобів. Для зменшення негативного впливу збурень використовуються різноманітні амортизатори (демпфери) чи гасники коливань. В наведеній роботі розглядається використання рекуперативного амортизатора вібраційних навантажень з застосуванням п'єзогенератора, як перетворювача механічної енергії коливань в електричну енергію. Наведена оцінка ефективності рекуперації.

Ключові слова: амортизатор, коливання, вібрація, гасіння, навантаження, рекуперація.

Abstract. This article discusses the energy performance of a recuperative shock absorber used in piezoelectric vehicles. The scientific and technical problem is considered, which is to determine the nature of the negative impact of external disturbances of various kinds on the functioning of the structural elements of vehicles. Various shock absorbers (dampers) or vibration dampers are used to reduce the negative impact of perturbations. This paper considers the use of a recuperative vibration shock absorber using a piezoelectric generator as a converter of mechanical vibration energy into electrical energy. An assessment of the effectiveness of recovery is given.

Keywords: shock absorber, oscillations, vibration, damping, loading, recuperation.

Вступ. З розвитком автомобільної промисловості, на сьогодні, значний акцент зроблений на енергоспоживання автомобіля. Однак, через зростаючий дефіцит ресурсів у відповідь на нагальну потребу в енергозбереженні та скороченні викидів виникає важливе питання, як зменшити споживання енергії та реалізувати її заощадження [1]. Заощадження енергії в автомобілі може сприяти більш повному використанню відпрацьованої енергії та зменшенню викидів вуглецю для сталого розвитку. Зокрема, при застосуванні нових енергоносіїв, це відіграє значну роль у підвищенні витривалості та подовженні часу роботи акумуляторів. У зв'язку з цим, актуально досліджувати системи автоматичної акумуляції енергії безпосередньо при експлуатації транспортного засобу [2]. Як відомо, система амортизації сприяє кращому керуванню та гальмуванню транспорту для підвищення рівня безпеки, а також забезпечує комфортне керування, добре ізольоване від ударів, вібрацій тощо. Отже, стає важливим, щоб амортизатори були ефективними гасниками динамічних навантажень, довговічними та економічними.

На сьогодні відомі різноманітні технології зарядки акумуляторів під час експлуатації, які пов'язані з застосуванням традиційних автомобільних генераторів, а також нетрадиційних засобів, наприклад, встановлення сонячних панелей на корпусі авто, або прокладання дорожнього покриття чи застосування шин, що мають п'єзоелектричні властивості.

Крім того, зарядка акумуляторів автомобілів є вкрай актуальною з поширенням

експлуатації електротранспорту, що викликає у користувачів потребу в джерелі струму, для прискореної зарядки акумуляторів та їх довготривалої експлуатації в зарядженому стані.

Мета та задачі. Оцінка ефективності рекуперації механічної енергії в динамічному процесі функціонування транспортного засобу за рахунок застосування п'єзогенератора встановленого безпосередньо в амортизатор.

Задачами є: визначити раціональні параметри амортизатора; розрахувати та визначити параметри п'єзокерамічного перетворювача;

Матеріал і результати досліджень. В останні роки дистанційне електрообладнання стає повсюдно поширеним на транспортні інфраструктури, як, наприклад, застосування бездротових датчиків для підвищення безпеки, управління та безперебійної роботи транспортної системи [1,2]. В контексті застосування бездротових датчиків в транспортних системах, однією з ключових проблем є межа стійкої та надійної роботи джерела енергії. З великою кількістю вузлів чи мереж датчиків, просте підмикання їх до джерела електроенергії без можливості автономної роботи є неефективним. Тому стає та екологічно чисте джерело енергії актуальне для задоволення потреби транспортної галузі.

На основі транспортного засобу можлива реалізація системи рекуперації електричної енергії з використанням динамічних режимів. Потенційним способом акумуляування електричної є рекупераційні системи, які використовують динамічний процес гальмування транспортного засобу [3]. З фізичної точки зору підвіски транспортних засобів характеризуються своєю жорсткістю і амортизацією, що впливає на амплітуду коливань (рис. 1) [4].



Рисунок 1 – Діаграми коливань автівки для різних з'єднань підвіски

Амортизатори, які встановлені для гасіння коливань, споживають велику кількість механічної енергії, перетворюючи її в тепло, що розсіюється в атмосферу. Таку енергію, без зниження ефективності функціонування, можна корисно використовувати, шляхом використання п'єзогенератора, з застосуванням п'єзокераміки, для перетворення механічної енергії в електричну. П'єзокераміка за фізичними властивостями - це полікристалічний сегнетоелектрик, який є хімічною сполукою або твердим розчином (порошки) зерен (кристалітів) [5].

Основною перевагою п'єзоелектричних матеріалів для отримання енергії (порівняно з іншими механізмами перетворення) є велика питома потужність, яку можна отримати за їх допомогою, а також простота використання. Питома потужність генератора енергії може бути визначена як вихідна потужність, пов'язана з обсягом пристрою із заданим вхідним сигналом. Графік питомої потужності (мВт/см^3) для різних

значень вихідної напруги (В) для різних типів перетворювачів енергії показаний на рисунку 2 [6]. З графіка видно, що область застосування п'єзоелектричного отримання енергії за рівнем питомої потужності значно ширше, ніж решта видів перетворень.

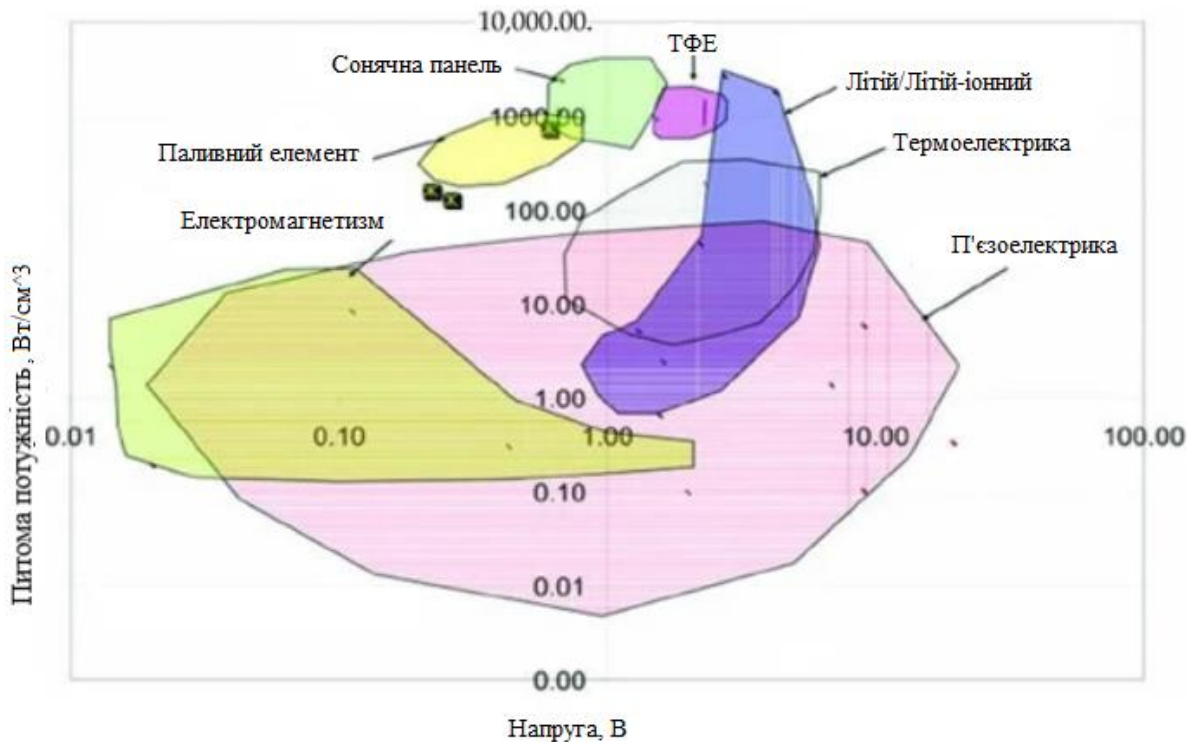


Рисунок 2 – Графік залежності питомої вихідної потужності від вихідної напруги

Пружина амортизатора застосовується, як елемент, що сприймає динамічні навантаження, які колеса шасі прагнуть передати на кузов транспортного засобу. З урахуванням різного дорожнього покриття різняться і навантаження, що діють на пружину. Частіше застосовуються виті пружини з дроту круглого перерізу. Такий пружний елемент має малі габарити, але значну енергоємність. Випускаються п'єзоелектричні матеріали на базі п'єзоелектричних керамічних матеріалів (далі ПКМ) вони є сегнетоелектричними з'єднаннями або їх твердими розчинами, отримані синтезом з суміші різних оксидів і солей [7].

Взаємозв'язок електричних та механічних властивостей кристалів, що демонструють п'єзоэффект, характеризується коефіцієнтом електромеханічного зв'язку $K_{зв}$. За прямого п'єзоэффекту підведена до кристала механічна енергія витрачається не тільки на пружну деформацію, призводячи не лише до накопичення пружної енергії $W_{пруж}$, але й до створення електричної поляризації, що обумовлює накопичення електричної енергії $W_{ел}$ [8]:

$$K_{зв} = \sqrt{\frac{W_{ел}}{W_{пруж} + W_{ел}}} \quad (1)$$

При роботі амортизатора його п'єзокерамічними вставками виробляється змінний струм. Параметри змінного струму i -го циклу спрацьовування п'єзогенератора, при русі штоку на стискання t_{11} і витискання t_{12} з поршня за сумарний період T_i , характеризуються відповідними дійсними позитивним і негативним $\pm I_{ді}$ значеннями. Проміжки часу t_i є

паузами між періодами T_i спрацьовування п'єзогенератора та їх величина залежить від частоти деформацій пружних елементів підвіски від впливу на колесо шасі нерівностей і дефектів дорожнього покриття.

Ефективність впровадження п'єзогенератора можна визначити через типовий розрахунок. Напругу, що виникає при одноразовому прикладенні навантаження, визначається за формулою [9]:

$$U_1 = \frac{d_{33} \cdot F}{C} = 2,566 \text{ В}, \quad (2)$$

де d_{33} – п'єзоелектричний модуль, для матеріалу PZT-8 $d_{33} = 280 \cdot 10^{-12}$ Кл/Н [10];

F – сила, яка впливає на елемент конструкції із закріпленим перетворювачем, прийmemo $F = 1360$ Н;

C – електрична ємність п'єзоелектричного перетворювача [11].

$$C = \frac{\epsilon \cdot \epsilon_0 \cdot S}{l} = 1,484 \cdot 10^{-7} \text{ Ф}, \quad (3)$$

де ϵ – електрична стала, $\epsilon = 5000$;

ϵ_0 – діелектрична проникність матеріалу п'єзоелектричного перетворювача, для матеріалу PZT-8, $\epsilon_0 = 9,896 \cdot 10^{-12}$ Ф/м;

S – площа п'єзоелектричного перетворювача, прийmemo $S = 0,03$ м²;

l – товщина п'єзоелектричного перетворювача, прийmemo $l = 0,01$ м.

Сила струму I , що виникає на електродах одного перетворювача при одноразовому прикладенні навантаження, становить 0,01 А. Тоді елемент конструкції машини або механізму, що піддається навантаженні з циклічністю до 50 впливів в хвилину, з чотирьохма приєднаними амортизаторами може виробляти електричну енергію потужністю [12]:

$$P = U_1 \cdot I \cdot n_1 \cdot n_2 = 30,792 \text{ Вт}, \quad (4)$$

де n_1 – циклічність прикладання навантаження, $n_1 = 50$ впл/хв;

n_2 – кількість використовуваних перетворювачів, $n_2 = 4$ шт.

При безперервній роботі за одну годину часу перетворювачі зможуть виробляти електричну енергію потужністю до 1847,52 Вт (без обліку втрат).

Висновки.

1. Амортизатори, які встановлені для гасіння коливань, споживають велику кількість механічної енергії, перетворюючи її в тепло, що розсіюється в атмосферу. Таку енергію, без зниження ефективності функціонування, можна корисно використовувати, шляхом використання п'єзогенератора, з застосуванням п'єзокераміки, для перетворення механічної енергії в електричну.

2. Застосування рекуперативних амортизаторів дозволяє реалізувати додаткове джерело електричної енергії для живлення обладнання, що використовується в транспорті, наприклад, акумулятора. Для забезпечення функції рекуперативності, в конструкцію амортизатора доцільно монтувати п'єзоелектричні генератори, які забезпечують ефективну рекуперацію енергії. Згідно з розрахунків, можливо отримати рекуперативну потужність за годину експлуатації транспортного засобу величиною в 1847,52 Вт, за напруги, при одноразовому прикладенні навантаження, з одного генератора $U_1 = 2,566$ В.

Список використаних джерел.

1. Global EV Outlook 2020. InternationalEnergyAgency. Червень 2020. URK: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2020>. (дата звернення 12.05.2022);
2. EnergyFloors. [Електронний ресурс]. URK:<https://energy-floors.com>(дата звернення 13.05.2022);
3. Поплавко Ю., Якименко Ю. П'єзоелектрики. Навчальний посібник. Київ : НТУУ «КПІ», 2013. 327 с.;
4. Посметьев, В. И. Состояние и обоснование энергосбережения машин и оборудования способом аккумуляирования / В. И. Посметьев, М. В. Жилияков, Д. В. Шмитько // Перспективные технологии, транспортные средства и оборудование при производстве, эксплуатации, сервисе и ремонте: межвуз. сб. науч. тр. Вып. 3; Фед. агентство по образованию, ГОУ ВПО «ВГЛТА». – Воронеж, 2008. – С. 85-91;
5. Жуков С. О. О пьезокерамике и перспективах ее применения. *Рынок микроэлектроники*. 03.05.2017. URL: http://www.compitech.ru/html.cgi/arhiv/01_01/stat-48.htm. (дата звернення 07.05.2022);
6. Бочкарьов Д. І., Пупачьов Д. С. Современное состояние и перспективы использования пьезопреобразователей в конструкциях мобильных машин. *Механика машин, механизмов и материалов*. 2019. №1(46). С. 13-18;
7. Сиротин Ю. И., Шаскольская М. П. Основы кристаллофизики. Москва: Наука, 1979. 640 с.;
8. Xuezheng Jiang, Jianchun Li, Yancheng Li. Piezoelectric energy harvesting from traffic-induced pavement vibrations. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*. 2018 ; 6, 043110-1;
9. Королюк А. П., Мацаков Л. Я., Васильченко В. В. Определение упругих и пьезокристаллических постоянных монокристаллов ниобата лития // Кристаллография. 1970. Т. 15, № 5. С. 1028–1032. 1
10. Довгяло В. А., Бочкарьов Д. І. Дорожно-строительные машины. Машины для земельных работ: учебное пособие. Гомель: Білоруський державний університет транспорту, 2010. 250 с.;
11. Богуш М. В. Пьезоэлектрическое приборостроение: сб. в 3 т. Ростов-на-Дону: Издательство СКНЦ ВШ, 2006;
12. Шарапов В. М., Мусієнко М. П., Шарапова О. В. Пьезоэлектрические датчики. Москва, Техносфера, 2006. 632 с.

Науковий керівник д.т.н., Сліденко В.М.