

УДК 681.5

**О.В.Бажинов, професор, д-р техн. наук,**

**С. П. Рожков, аспірант,**

**С.Е. Рожкова, доцент, канд. техн. наук**

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

*вул. Петровського, 25, м. Харків, Україна, 61002*

*rogkov\_s@mail.ru*

## **ВИБІР КОНСТРУКЦІЇ АКТУАТОРА ДЛЯ ВИКОРИСТАННЯ У ЕЛЕКТРОМАГНІТНІЙ ПІДВІСЦІ АВТОМОБІЛЯ**

*Виконано огляд існуючих конструкцій циліндричних лінійних машин на постійних магнітах та сформульовано основні критерії вибору конструкції актуатора, найбільш придатної для використання у підвісці автотранспортних засобів.*

**Ключові слова:** *підвіска автомобіля, циліндричний лінійний двигун, постійні магніти.*

**Постановка проблеми.** Основною вадою сучасного електромобіля є його малий запас ходу. Джерела електричної енергії мають обмежену ємність та велику собівартість, що накладає значні обмеження на використання електромобілів. Тому в значній мірі стає питання підвищення енергоефективності самого електромобіля. Одним зі шляхів є впровадження рекуперації механічної енергії руху та коливань електромобіля у електричну енергію в бортовій мережі. Механічна енергія коливань автомобіля, що перетворюється звичайним амортизатором у теплову енергію, може бути перетворена в електричну енергію за допомогою регенеративної електромагнітної підвіски. В такій підвісці в якості актуатора (виконавчого пристрою) можуть бути використані лінійні двигуни різних конструкцій.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** На сьогодні існує багато типів лінійних електричних машин. Основною перевагою цих машин, завдяки якій вони знаходять широке застосування у різних технічних галузях, є можливість перетворення прямолінійного руху у електричну напругу та зворотно без використання конвертуючих механічних пристроїв. Такі машини використовують у разі потреби в точному позиціонуванні виконавчих пристроїв, наприклад, при здійсненні маніпуляцій роботами, у пристроях з високими прискореннями [1] та у випадках необхідності в виконавчих пристроях з малою інерційністю [2].

Для використання у автомобільній галузі найбільш ефективними та практичними є циліндричні лінійні машини (ЦЛМ) на постійних магнітах. У порівнянні із звичайними електричними машинами вони мають кращі енергетичні та температурні характеристики. Крім того, якщо розглядати ЦЛМ з точки зору використання в автомобілі, вони як найкраще відповідають особливостям конструкції підвіски завдяки циліндричній формі, яка співпадає з формою звичайного амортизатора. Це дозволяє роздвигатися використанню ЦЛМ як plug-n-play пристрій [3]. У [4] пропонується використовувати ЦЛМ у якості амортизатора разом з пружиною, а габаритні параметри пристрою дозволяють замінити традиційний амортизатор в передній стійці без зміни конструкції підвіски.

**Мета статті.** Метою даної роботи є формування основних критеріїв для подальшого вибору оптимальної конструкції ЦЛМ на основі аналітичного огляду існуючих типів конструкції ЦЛМ, з точки зору використання як актуатора у підвісці автомобіля.

**Матеріали та результати досліджень.** Аналіз літературних джерел [4], [5], [6] показав, що найбільш ефективним з точки зору використання у автомобільній підвісці є трьохфазні безконтактні ЦЛМ на постійних магнітах.

Використання у підвісці автомобіля ЦЛМ як plug-n-play пристроїв накладає деякі обмеження на їх конструкцію та масо-габаритні параметри. Крім того, ЦЛМ має забезпечувати достатню для демпфірування коливань силу на штоку та працездатність в усьому експлуатаційному температурному діапазоні.

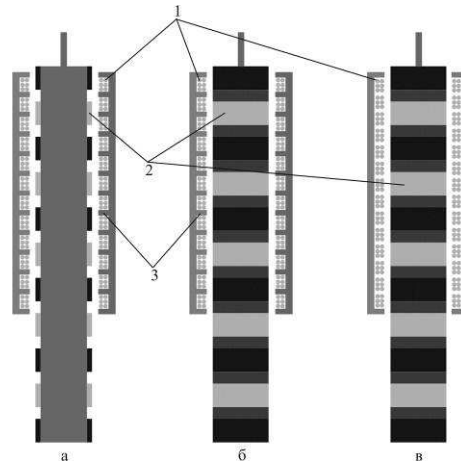
На сьогодні існує декілька основних конструкцій ЦЛМ, які дозволяють їх використання у автомобільній підвісці. Вони відрізняються взаємним розташуванням магнітів та обмоток, конструкцією магнітної системи, способом укладки обмоток та типом намагнічування магнітної системи.

Треба зауважити, що досить важливим є вибір магнітних матеріалів, що повинні забезпечувати необхідні енергетичні показники та здатність зберігати свої властивості при рості температури до 120°C.

Принципи функціонування ЦЛМ дають можливість використання двох типів конструкції – з внутрішнім (рисунок 1, а) та зовнішнім (рисунок 2, а) розташуванням магнітної системи. В свою чергу, при використанні внутрішнього розташування магнітної системи ЦЛМ можуть бути розділені по

конструкції магнітної системи. В першому випадку магніти розташовані на поверхні штоку (рисунок 1, а), в другому шток сформований з магнітів у формі дисків (рисунок 1, б).

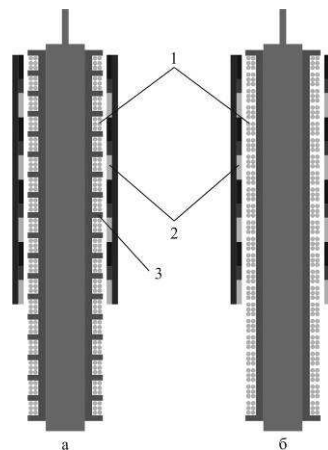
Крім того, ЦЛМ класифікуються за типом укладки обмоток. Можна використовувати безпазову укладку обмоток (рисунок 1, в та рисунок 2, б) або обмотку, що укладена в пази (рисунок 1, а, б та рисунок 2, а).



1 – обмотка; 2 – магніти; 3 – пази

Рисунок 1 – Варіанти конструкції ЦЛМ з внутрішнім розташування магнітів:

а – ЦЛМ з розташування магнітів на поверхні штоку та обмоткою, укладеною в пази; б – ЦЛМ зі штоком, сформованим з магнітів у формі дисків та обмоткою, укладеною в пази; в – ЦЛМ зі штоком, сформованим з магнітів у формі дисків та безпазовою конструкцією обмотки



1 – обмотка; 2 – магніти; 3 – пази

Рисунок 2 – Варіанти конструкції ЦЛМ із зовнішнім розташування магнітів:

а – ЦЛМ з обмоткою, укладеною в пази; б – ЦЛМ з безпазовою конструкцією обмотки

Стосовно типу намагнічування магнітної системи ЦЛМ, вона може бути трьох типів:

- аксіально намагнічені магніти [5];
- радіально намагнічені магніти з полюсами з магніто-м'якого матеріалу [6];
- квазі-Халбах магнітний масив [3].

При виборі однієї з цих конструкцій треба враховувати вимоги, що накладаються на виконавчий пристрій, використовуваний у автомобільній підвісці:

- щільність сили – геометричні параметри підвіски накладають суттєві обмеження на співвідношення сили на штоку пристрою до його об'єму;
- оптимізація втрат у електромагнітній системі ЦЛМ для забезпечення енергоефективності системи;
- обмоточна частина повинна бути встановлена на підресореній масі, щоб уникнути використання рухомих контактів;
- одна з частин ЦЛМ повинна бути довша за іншу, для забезпечення максимального робочого діапазону машини;

- конструкція машина повинна забезпечити її аварійне функціонування, у випадку відмови системи керування у якості некеруваного демпферного пристрою;
- ЦЛМ як актуатор має бути plug-n-play пристроєм, тобто його встановлення не повинно вимагати зміння конструкції інших частин підвіски;
- ЦЛМ повинна відповідати умовам швидкодії системи, для вчасного реагування на зміну умов руху автотранспортного засобу;
- мінімізація вартості пристрою, яка в значній мірі обумовлена вартістю магнітів, за рахунок вибору відповідної конструкції магнітної системи;
- конструкція повинна витримувати такі ж самі механічні навантаження, як і стандартний пасивний амортизатор.

Варіанти конструкції зі штоком, виконаним з магнітів (рисунок 1, б, в), не задовольняють умові механічної міцності через спосіб кріплення магнітів, тому треба розглядати тільки варіанти конструкції, зображені на рисунку 1, а та рисунку 2, а, б.

Як було показано у [3], найбільш ефективною за магнітними параметрами є квазі-Халбах магнітна система. Завдяки особливостям розташування магнітів у масиві досягається концентрування магнітного потоку вздовж однієї з поверхонь полого циліндра (внутрішньої чи зовнішньої), а з іншої магнітний потік стає близьким до нуля. Якщо використовувати квазі-Халбах магнітний масив у ЦЛМ, то можна сконцентрувати весь магнітний потік у внутрішній частині машини, що забезпечить високі значення щільності сили. Якщо говорити про застосування ЦЛМ у якості автомобільного амортизатора, то стає очевидним, що для використання квазі-Халбах магнітної системи підходять дві конструкції – з зовнішнім розташуванням магнітів (рисунок 2, а, б) та з внутрішнім на поверхні штока (рисунок 1, а). Ці дві конструкції задовольняють максимальній кількості наведених умов. Але конструкція з зовнішнім розташуванням магнітів дозволяє уникнути застосування ковзаючі контактів.

**Висновки.** Таким чином, згідно сформульованих умов до актуатора електромагнітної підвіски можна зробити попередній висновок, що найбільш придатним для використання у електромагнітній підвісці автомобіля є ЦЛМ з зовнішнім розташуванням магнітів та обмоткою, вкладеною в пази. Саме така конструкція дозволяє реалізувати максимум умов, які буди перелічені вище.

#### *Бібліографічний список використаної літератури*

1. Meessen K.J. Analysis and design of a slotless tubular permanent magnet actuator for high acceleration applications / K.J.Meessen, J.J.H.Paulides, E.A.Lomonova // Journal of applied physics. – 2009 – vol.105 – pp. 07F110-1 - 07F110-3.
2. Budig P.-K. The application of linear motors / P.-K. Budig // Proc. of IEEE Power Electronics and Motion Control Conference – 2000 – vol. 3 – pp. 1336-1341.
3. Gysen B. Design aspects of an active electromagnetic suspension system for automotive applications / B.Gysen, J.Jansen, J.Paulides, E.Lomonova // Industry Applications, IEEE transactions on, vol.45 – 2009 – pp. 1589–1597.
4. Janssen J. Design of active suspension using electromagnetic devices: master's thesis / J.Janssen – Eindhoven University of Technology – 2006 – p. 96.
5. Allen J.A. Design of active suspension control based upon use of tubular linear motor and quarter-car model: master's thesis / J.A.Allen – Texas A&M University – 2008 – p. 137.
6. Oly D. Paz. Design and performance of electric shock absorbers: master's thesis / Oly D. Paz – Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College – 2004 – p. 70.

*Надійшла до редакції 13.05.2013 р.*

#### **Бажинов А.В., Рожков С.П., Рожкова С.Э. Выбор конструкции актуатора для использования в электромагнитной подвеске автомобиля**

Выполнен обзор существующих конструкций цилиндрических линейных машин на постоянных магнитах и сформулированы основные критерии выбора конструкции актуатора, наиболее пригодной для использования в подвеске автотранспортных средств.

**Ключевые слова:** подвеска автомобиля, цилиндрический линейный двигатель, постоянные магниты.

#### **Bazhinov A.V., Rozhkov S.P., Rozhkova S.E. The review of actuators design for electromagnetic suspension**

The review of existing tubular linear machines on permanent magnets is made, and the main choice criteria for the most suitable design of it for using in vehicle suspension formulated.

**Keywords:** automobile suspension, tubular linear machine, permanent magnets.