

УДК 629.113

*В. М. ДЕМБІЦЬКИЙ*, аспірант Луцького НТУ**ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИВОДУ ГАЛЬМІВНОЇ СИСТЕМИ  
ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ З ГІБРИДНОЮ СИЛОВОЮ  
УСТАНОВКОЮ ТА РЕКУПЕРАЦІЄЮ ЕНЕРГІЇ**

Проведено дослідження приводу гальмівної системи транспортного засобу з гібридною силовою установкою та рекуперацією енергії в частині ходу гальмівної педалі, уточнено рівняння для розрахунку ходу гальмівної педалі, обґрунтовано переваги застосування електричного складника гальмівної системи.

**Ключові слова:** рекуперація енергії, гальмування, хід гальмівної педалі, електродинамічне гальмування.

**Вступ.** З досвіду та історії автомобілебудування, зокрема на тролейбусах та трамвайних вагонах застосовується двох функціональна система гальмівного управління. Одна функція системи полягає у забезпеченні електродинамічного гальмування, друга – забезпечення функціонування робочої гальмівної системи. Зважаючи на розвиток гібридних та електричних автомобілів, виникає необхідність проведення досліджень приводу систем електродинамічного гальмування.

Дана робота є продовженням серії досліджень [1,2] пов'язаних з гальмівними властивостями гібридного автомобіля обладнаного системою рекуперації енергії.

**Аналіз попередніх досліджень.** Питання дослідження приводу системи електродинамічного гальмування досить широко висвітлені науковцями у сфері залізничного та міського електричного транспорту [2] та ін., однак застосування цих досліджень до автомобільного транспорту, зокрема до легкових автомобілів є проблематичним зважаючи на досить суттєві відмінності між цими видами транспорту. В основному дослідження гібридних автомобілів пов'язані з моделюванням компоновальних схем, визначенням тягово-швидкісних властивостей, запасу енергії. Питання дослідження гальмівних властивостей гібридних транспортних засобів, на яких застосовано рекуперацію енергії та системи її накопичення залишається відкритим, оскільки даний напрямок в Україні лише починається розвиватися. Інформація щодо здійснення фундаментальних досліджень зазначеного питання іноземними науковцями також відсутня, оскільки компанії, які випускають гібридні автомобілі, подібну інформацію вважають конфіденційною.

**Метою даної роботи** є дослідження приводу гальмівної системи транспортного засобу з гібридною силовою установкою та рекуперацією енергії в частині ходу гальмівної педалі.

Електродинамічне гальмування зазвичай забезпечується реостатом інтенсивності дії, призначеного для управління процесом електричного гальмування. Робоча система гальмування приводиться в дію виконавчими механізмами системи керування. Приведення в дію гальмівної системи здійснюється за допомогою педалі.

При натисканні на педаль спочатку спрацьовує система електричного гальма, а при подальшому натисканні спрацьовує також робоча гальмівна система. Таким чином здійснюється поетапне гальмування. Для забезпечення ефективної роботи основної гальмівної системи необхідно передбачити достатній хід (s) органу керування – педалі, з тим, щоб забезпечити:

- нормативну ефективність гальмування;

© В. М. Дембіцький, 2013

- регульоване гальмівне зусилля;
- нормативне зусилля натиску на орган керування.

Разом з тим, досить важливим є забезпечення процесу електричного гальмування, при необхідності зниження швидкості руху, без залучення основної гальмівної системи, тобто робочий хід гальмівної педалі повинен становити (мм):

$$s_{\Sigma} = s_e + s_p - \Delta s$$

де,  $s_{\Sigma}$  - сумарний хід гальмівної педалі;

$s_e$  - хід гальмівної педалі, де забезпечується електродинамічне гальмування;

$s_p$  - хід гальмівної педалі, де забезпечується робота основної системи гальмування;

$\Delta s$  - хід гальмівної педалі, при якому відбувається одночасна дія електричного та механічного складників гальмівної системи.

Застосування системи електричного гальмування з рекуперацією енергії дозволяє виключити величину вільного ходу педалі, оскільки зазори у гальмівних механізмів виберуться за рахунок ходу електрогальмування.

Складова  $\Delta s$  має досить важливе значення оскільки вона дозволяє забезпечити більший діапазон регулювання і, відповідно, плавність наростання гальмівної сили обох складників електричного та механічного, більшу тривалість електричного складника з постійним наростанням сповільнення та накопиченням енергії.

Раціональною схемою керування буде такий характер залежності, який забезпечить:

- 1) відповідність транспортного засобу нормативним вимогам щодо ефективності гальмування;
- 2) електродинамічне гальмування з максимальним накопиченням енергії;
- 3) регульоване гальмування обома складниками електричним та механічним.

Зважаючи на те, що досліджується лише електрична складова гальмівного процесу, то можна вважати, що робоча гальмівна система відповідає усім встановленим нормативним вимогам і величина ходу, ефективність та конструкція механічного складника гальмівної системи повністю відповідають вимогам нормативних документів.

Для електродинамічного гальмування контролер повинен забезпечити плавне наростання гальмівного моменту на ділянці  $s_e$  від мінімального до максимального, при цьому достатньо буде прийняти лінійну залежність ходу гальмівної педалі від гальмівної сили.

У [1] встановлено діапазон зміни сповільнення під час електричного гальмування з рекуперацією енергії, який знаходиться у межах від 1,0 до 0,15 м/с<sup>2</sup>. Регульоване електродинамічне гальмування буде здійснюватися на проміжку ходу педалі

$$s_e = s_{еп} + \Delta s$$

де,  $s_{еп}$  - хід гальмівної педалі, де забезпечується лише електродинамічне гальмування.

Виходячи з графіка зміни гальмівної сили або сповільнення по часу [3], зображеного на рис. 1, встановлено, що оптимальним варіантом буде початок електродинамічного гальмування відразу після приведення в дію гальмівного приводу та поступове зменшення його ефективності до нуля по мірі наростання значення встановленого сповільнення механічного складника гальмівної системи (рис. 2).

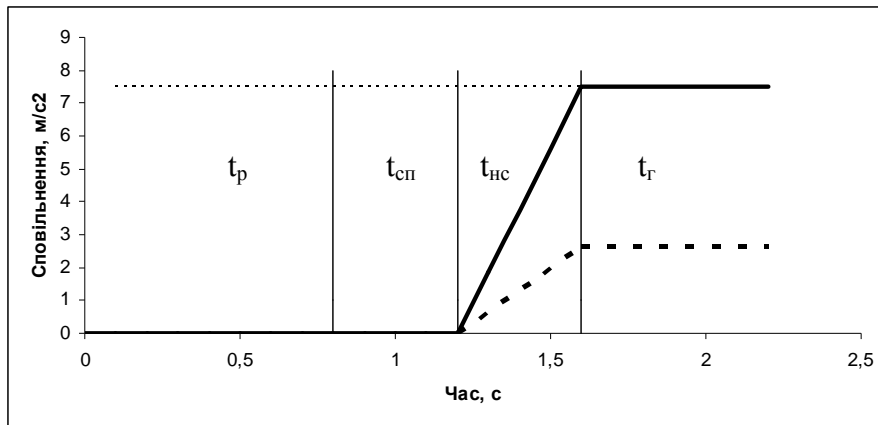


Рисунок 1 – Графік зміни сповільнення в процесі гальмування транспортного засобу гідравлічною гальмівною системою:

\_\_\_\_\_ - гальмування транспортного засобу з максимальним сповільненням;

----- - гальмування транспортного засобу в штатних режимах руху;

$t_p$  – час реакції водія;

$t_{сп}$  – час спрацювання гальмівного приводу від моменту натиснення на гальмівну педаль до появи сповільнення;

$t_{нс}$  – час наростання сповільнення від нуля до максимального значення або значення заданого водієм;

$t_г$  – час гальмування транспортного засобу з встановленим значенням сповільнення

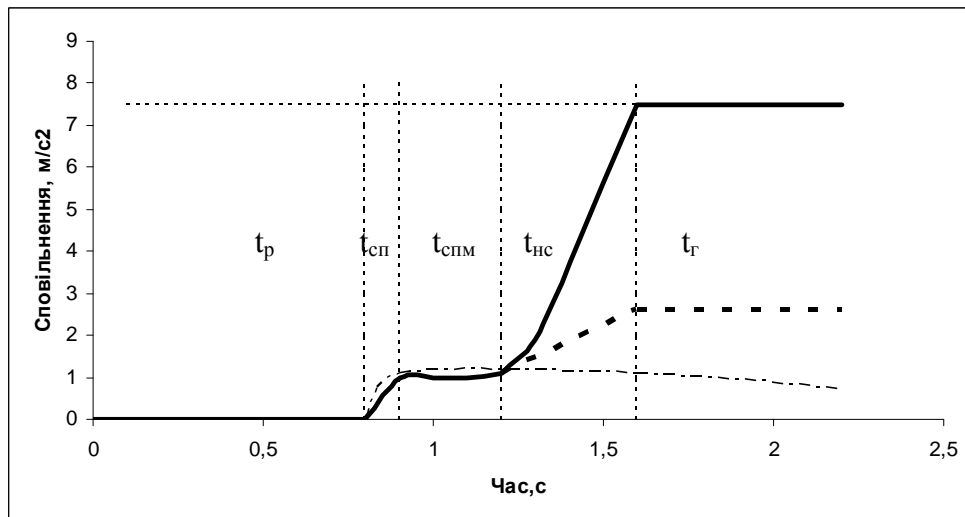


Рисунок 2 – Графік зміни сповільнення в процесі гальмування транспортного засобу гідравлічною гальмівною системою з застосуванням:

\_\_\_\_\_ - гальмування транспортного засобу з максимальним сповільненням;

----- - гальмування транспортного засобу в штатних режимах руху;

- . - . - гальмування транспортного засобу електричним складником

$t_p$  – час реакції водія;

$t_{сп}$  – час спрацювання гальмівного приводу електродинамічного гальмування від моменту натиснення на гальмівну педаль до появи сповільнення. На графіку, для

наочності, прийнято значення 0,1 с. Залежно від прийнятої схеми управління може бути зведений практично до 0.

$t_{спм}$  – час спрацювання механічного складника гальмівного приводу від моменту натиснення на гальмівну педаль до появи сповільнення, дія електродинамічного гальмування з максимальною ефективністю;

$t_{нс}$  – час наростання сповільнення механічного складника гальмівної системи від нуля до максимального значення або значення заданого водієм;

$t_r$  – час гальмування транспортного засобу з встановленим значенням сповільнення.

З наведених графіків видно переваги застосування електродинамічного гальмування, яке крім економічного ефекту дозволяє фактично виключити час, необхідний на спрацювання механічного приводу, який, в залежності від стану гальмівної системи, може становити до 1 с. Якщо прийняти швидкість руху автомобіля близько 60 км/год, за цей час автомобіль може подолати відстань до 15 м, а застосування системи електродинамічного гальмування дозволить, протягом цього часу, ефективно зменшити швидкість руху транспортного засобу та попередити або мінімізувати наслідки ДТП, що є важливим елементом активної безпеки.

З метою реалізації процесів гальмування застосовується гальмівна педаль з системою управління електродинамічним гальмуванням, схема якої наведена на рисунку 3.

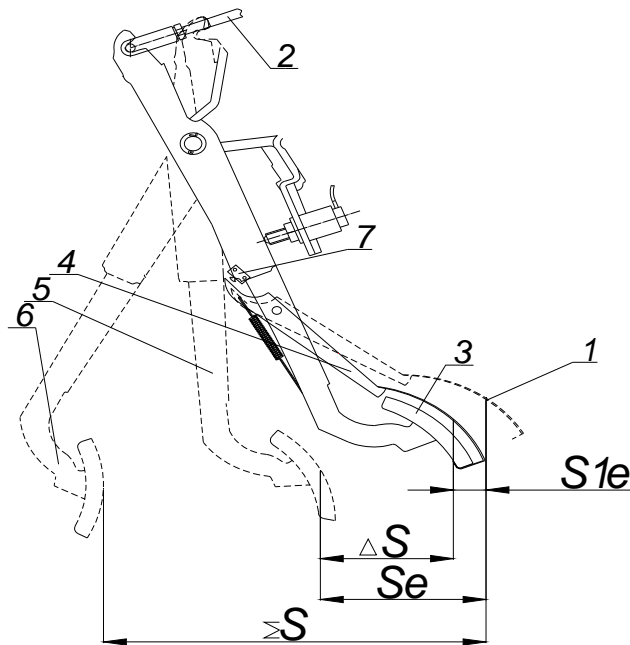


Рисунок 3 – Схема гальмівної педалі для управління механічним та електричним складниками гальмівної системи: 1 – привід системи електродинамічного гальмування, 2 - привід системи механічного гальмування, 3 – привід механічного складника у вільному (не натиснутому) стані, 4, 5, 6 – положення гальмівної педалі під час дії відповідно електричного, електричного та механічного та механічного складників гальмівної системи, 7 – датчик приводу електричного складника гальмівної системи,  $S_{1e}$  – хід гальмівного приводу, де відбувається дія лише електричного складника гальмівної системи,  $S_e$  – повний хід гальмівного приводу, де відбувається дія електричного складника гальмівної системи,  $\Delta S$  – хід гальмівного приводу, де відбувається одночасна дія електричного та механічного складників гальмівної системи,  $\Sigma S$  – повний хід гальмівної педалі.

Під час натиснення на гальмівну педаль в діапазоні ходу  $S_e$  вмонтований реостат змінює силу струму в обмотці збудження електродвигуна автомобіля і при цьому забезпечується плавне зниження швидкості транспортного засобу. При подальшому натисканні на педаль в діапазоні  $\Delta S$  відбувається одночасна дія електричного та механічного складників гальмівної системи, при цьому відбувається поступове зростання ефективності робочої гальмівної системи та досягнення її максимального значення. В наступному діапазоні ходу гальмівної педалі відбувається відключення електричного складника гальмівної системи, оскільки напруга суперконденсаторів і генератора вирівнюється і двигун вийде з режиму генератора [1], гальмування здійснюватиметься лише за рахунок робочої гальмівної системи. Подібні схеми керування досить широко застосовуються на міському електричному та залізничному транспорті.

Перевагою даної схеми є можливість застосування регульованого електричного гальмування, а у випадках службового гальмування (наприклад: пригальмовування на світлофорах і т.п.) виключити використання робочої гальмівної системи.

В даних дослідженнях прийнято, що об'єм накопичувачів енергії необмежений, однак, необхідно пам'ятати, що контролер забезпечуватиме заданий режим електродинамічного гальмування до того часу доки накопичувачі енергії зможуть приймати акумульовану електроенергію. Коли накопичувачі енергії будуть повністю заряджені, рекуперация енергії припиниться та, відповідно електрогальмування припиниться, тому вибір об'ємів накопичувачів необхідно приймати з врахуванням режимів руху транспортних засобів.

**Висновки.** В результаті теоретичних досліджень:

- уточнено рівняння для розрахунку ходу гальмівної педалі;
- отримано графік зміни сповільнення в процесі гальмування транспортного засобу гідравлічною гальмівною системою з застосуванням електродинамічного гальмування;
- обґрунтовано переваги застосування електричного складника гальмівної системи.

Отримані результати можуть бути застосовані для подальшого дослідження процесів електродинамічного гальмування транспортних засобів, а також для покращення ефективності таких процесів.

**Список літератури:** 1. *Сітовський О.П., Дембіцький В.М.* Математичне моделювання процесу електричного гальмування макету транспортного засобу з гібридною силовою установкою // Вісник СевНТУ. Вип. 135. – Севастополь: СевНТУ, 2012. С. 73 – 75. 2. *Ефремов И.С.* Троллейбусы (теория, конструкция и расчёт) издание третье, исправленное и дополненное. – Москва: Высшая школа, 1989. – 488 с. 4. *Иванов В.В.* Основы теории автомобиля и трактора: учебное пособие для механических специальностей вузов / [В. В. Иванов, В. А. Иларионов, М. М. Морин]. — М. : «Высшая школа», 1970. — 224 с. 5. *Дембіцький В.М.* Вибір компоновальної схеми гібридного

автомобіля та визначення режимів його руху // Наукові нотатки. Вип. 37. – Луцьк: ЛНТУ, 2012. С. 75 – 81.

*Надійшла до редколегії 04.04.2013*

УДК 629.113

**Дослідження приводу гальмівної системи транспортного засобу з гібридною силовою установкою та рекуперацією енергії / В.М. Дембіцький // Вісник НТУ «ХП». Серія: Автомобіле- та тракторобудування, 2013. – № 29 (1002). – С. 28–33. – Бібліогр.: 5 назв.**

Проведено исследование привода тормозной системы транспортного средства оборудованного гибридной силовой установкой и рекуперацией энергии в части хода тормозной педали, уточнено уравнение для расчета хода тормозной педали, обоснованы преимущества применения электрической составляющей тормозной системы.

**Ключевые слова:** рекуперация энергии, торможение, ход тормозной педали, электродинамическое торможение.

The research of the brake-gear system drive of the vehicle with hybrid power plant and energy recuperation in the part of a brake pedal running is made, the equation to count the brake pedal running is precised, the advantages of using of the electrical part of brake-gear system are proved.

**Keywords:** recovery of energy, braking, motion of brake pedal, electrodynamic braking.