

УДК 621.87:681.5

## РОЗРОБКА МЕТОДІВ ФОРМУВАННЯ ВИХІДНИХ ПАРАМЕТРІВ РЕКУПЕРАЦІЇ ЕНЕРГІЇ НА ГІБРИДНИХ АВТОМОБІЛЯХ

**Яцина М.М.**

Кременчуцький національний університет ім. М. Остроградського, м. Київ Україна

*Анотація:* У роботі побудовані таблиці вихідних параметрів рекуперації енергії на гібридних автомобілях, які дають можливість створити методи формування розрахункових моделей рекупераційного гальмування

*Ключові слова:* рекуперація, енергія, автомобіль, гальмування, гібрид

Автомобілі, які обладнані пневмодвигунами, зазвичай, обладнуються системою рекуперації енергії, яка дозволяє накопичувати пневматичну енергію, отриману в процесі гальмування та в подальшому використовувати її для руху.

Крім того використання системи рекуперації енергії в певних моментах може бути більш ефективним та доцільним, ніж застосування штатної гальмівної системи. Оскільки гальмівна система є одним з елементів активної безпеки, то це вимагає її детального дослідження та вивчення.

Також питання дослідження гальмівних властивостей транспортних засобів під час рекуперації енергії досить активно розглядається та вивчається у сфері міського пневматичного транспорту та залізничного транспорту. Однак розгляд системи рекуперації енергії з точки зору допоміжної гальмівної системи транспортного засобу потребує ще чимало зусиль для її вивчення та дослідження.

Для проведення розрахунків найбільш доцільно скористатися вхідними даними встановленими у нормативних документах. Так, у зазначено, що під час випробувань транспортних засобів, обладнаних пневмоприводом та системою рекуперації енергії, доля участі пневматичної системи рекуперативного гальмування не повинна перевищувати мінімального рівня, гарантованого конструкцією системи. Під час проведення випробувань ця вимога вважається виконаною, якщо накопичувачі енергії мають один з нижченаведених ступенів зарядки:

- а) максимальний ступінь зарядки пневмобалонів, рекомендований заводом-виробником;
- б) не менше 95% від повної зарядки при відсутності будь-яких конкретних рекомендацій підприємства-виробника;
- в) максимальний ступінь, який забезпечується автоматичним засобом регулювання ступеня зарядки батарей на транспортному засобі.

Необхідно зазначити, що вимоги (а) та (б) є дещо схожими, оскільки підприємством-виробником, для нормальної роботи транспортного засобу, повинно бути забезпечено оптимальний режим регулювання ступеня зарядки накопичувачів енергії.

Вибір оптимального ступеня зарядки накопичувачів енергії та, відповідно, регулювання їх ступеня зарядки, дозволить забезпечити максимально ефективну їх роботу, а на стадії проектування транспортних засобів провести більш достовірні розрахунки їх експлуатаційних показників. Для визначення оптимального ступеня зарядки накопичувачів енергії, вихідними даними за результатами розрахунку будуть кількість енергії, яка рекуперована транспортним засобом під час гальмування та відношення цієї енергії до загальної ємності накопичувачів енергії. В міському циклі руху транспортного засобу відбувається, зазвичай, службове гальмування. Під час цього гальмування поглинається кінетична енергія. Якщо ж це гальмування здійснюється під час руху автомобіля на ухилі, то також необхідно врахувати і потенціальну енергію.

Тоді, в загальному вигляді, кількість енергії, яка буде вивільнена під час електродинамічного гальмування та, відповідно, яка повинна бути поглинута накопичувачами енергії становитиме

$$A_{\text{е}} = \Delta E_{\text{к}} + \Delta E_{\text{п}} = \frac{G \cdot (V^2 - V_n^2)}{2g} + G_a \sin \alpha \left( \frac{V^2 - V_n^2}{2g} \right) \quad (1)$$

де,  $\Delta E_{\text{к}}$  - зміна кінетичної енергії транспортного засобу, Дж;  $\Delta E_{\text{п}}$  - зміна потенціальної енергії транспортного засобу, Дж;  $t$  - час здійснення гальмування, с;  $G_a$  - вага автомобіля, Н;  $v_{\text{п}}$  - початкова швидкість транспортного засобу, м/с;  $v_{\text{к}}$  - кінцева швидкість транспортного засобу, м/с;  $\alpha^\circ$  - кут спуску (ухилу);  $S$  - шлях, який долає автомобіль під час електродинамічного гальмування, м;  $g$  - прискорення вільного падіння, дорівнює 9,81 м/с<sup>2</sup>.

Варто звернути увагу на ряд припущень та спрощень, введених у залежності (1):

- оскільки гальмування здійснюється лише за допомогою пневматичного двигуна, гальмівні сили механічного складника рівні 0;

- транспортний засіб рухається з відносно невеликою швидкістю, тому опором повітря можна знехтувати, тобто  $R_w=0$ .

Швидкість, з якої здійснюється гальмування, під час пневмодинамічного гальмування на етапі проектування доцільно вибирати з циклів руху, які використовуються під час визначення паливної економічності транспортних засобів.

Зважаючи на те, що після гальмування транспортний засіб в будь-якому випадку переходить у тяговий режим, то можна стверджувати, що в тяговому режимі уся накопичена енергія буде витрачена, тому ступінь зарядки накопичувачів енергії перед початком гальмування повинен бути таким, щоб можна було забезпечити поглинання усієї рекуперованої енергії. Для цього з вище наведених їздових циклів достатньо вибрати максимальне значення швидкості. Кінцева швидкість гальмування, це значення швидкості, при якому припиняється рекуперация енергії, приймається 1,5 м/с. Час, протягом якого здійснюється пневмодинамічне гальмування, можна визначити із залежності

$$t = \frac{G_a \cdot (V^2 - V_n^2)}{J_{\tau}} \quad (2)$$

де,  $J_{\tau}$  - сповільнення, яке розвиває транспортний засіб, під час пневмодинамічного гальмування. Приймається, на основі розрахункових даних та результатах випробувань, близько 1,0 м/с<sup>2</sup>. Однак, при розрахунках необхідно також враховувати зовнішні фактори, зокрема поздовжній профіль дороги. У [156] описано методику розрахунку кількісних та якісних показників поздовжнього дорожнього профілю для різних місцевостей, застосовуючи які можна досить точно розрахувати необхідний ступінь зарядки накопичувачів автомобіля. На даний момент відмічаються тенденції автовиробників спрямовані на здешевлення гібридних та пневматичних транспортних засобів. Вони

проявляються у виконанні автомобілів із загальною ємністю накопичувачів енергії у відповідності до вимог споживачів. Тобто з'являється можливість отримати транспортний засіб якнайбільше адаптований до реальних умов експлуатації та вимог споживача. Спираючись на вище викладене, з метою спрощення розрахунків варто скористатися наступними твердженнями щодо поздовжнього ухилу дороги:

- поздовжній профіль дорожнього полотна є однаковим на усій довжині;
- розподіл спусків та підйомів за кількістю є рівномірним.

Крім того врахування поздовжнього профілю дороги необхідно проводити з розподілом умов експлуатації за типом місцевості. Можна виділити наступні типи рельєфу, з метою вибору комплектації транспортного засобу:

- рівнинна місцевість;
- пересічна місцевість;
- різкопересічна місцевість;
- гірська місцевість.

В даній роботі для врахування поздовжнього дорожнього профілю варто скористатися експериментальними даними, отриманими при виконанні поїздок в міжміському та міському режимі. Максимальна початкова швидкість службового гальмування становить близько 70 км/год, що і буде доцільним взяти за основу. Оскільки відсутні зтяжні спуски, то проводити розрахунки по шляху електродинамічного гальмування є недоцільним.

Враховуючи вище викладене, створюємо таблицю вихідних параметрів рекуперації енергії на гібридних автомобілях, які дають можливість створити методи формування розрахункових моделей рекупераційного гальмування.

**Список літератури:**

1. Яцина М.М. Підвищення енергоефективності пневматичного двигуна на основі геометричних параметрів елементів робочої камери / М. М. Яцина // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. – 2013. – Вип. 5/2013 (82). – С. 93–97.
  2. Саленко О.Ф. О возможности использования приводов на мобильных транспортных средствах с автономным источником питания / О.Ф. Саленко, М.М. Яцина // International Scientific Conference 20–21 November 2012, Gabrovo (Болгарія, Габрово), 2012. – С. 313–317.
  3. Герц Е.В. Динамический расчет дискретных пневматических приводов / Е.В. Герц // Пневматика и гидравлика. М.: Машиностроение, 1973. – С 17–33.
-