

УДК 629.3

ВИБІР ПОТУЖНОСТІ ТЯГОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ ДВИГУНІВ ДЛЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

О.П. Смирнов, доц., к.т.н., А.О. Борисенко, асист., к.т.н.,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація. Розроблено рекомендації щодо вибору потужності тягового електричного двигуна залежно від маси електричного транспортного засобу, швидкості його руху та дальності пробігу в режимі «тільки електрика». Результати дослідження подано у вигляді тривимірних залежностей.

Ключові слова: електромобіль, гібридний електромобіль, гібридний транспортний засіб, електричний двигун, потужність, дальність пробігу.

ВЫБОР МОЩНОСТИ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДВИГАТЕЛЕЙ ДЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

О.П. Смирнов, доц., к.т.н., А.О. Борисенко, ассист., к.т.н.,
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

Аннотация. Разработаны рекомендации по выбору мощности тягового электродвигателя в зависимости от массы электрического транспортного средства, скорости его движения и дальности пробега в режиме «только электричество». Результаты исследования представлены в виде трехмерных зависимостей.

Ключевые слова: электромобиль, гибридный электромобиль, гибридное транспортное средство, электрической двигатель, мощность, дальность пробега.

CHOOSING THE POWER OF TRACTION ELECTRIC MOTORS FOR ELECTRIC VEHICLES

O. Smirnov, Assoc. Prof., Ph. D. (Eng.),
A. Borisenko, T. Asst., Ph. D. (Eng.),
Kharkov National Automobile and Highway University

Abstract. Recommendations on choosing the power of the electric motor, depending on the weight of the vehicle, its speed and the run distance in the «only electricity» mode are developed. Based on mathematical modeling and a number of field tests of electric vehicles, a three-dimensional dependence of the power on the weight and the speed set is built and conclusions are presented.

Key words: run distance, «only electricity» mode, traction batteries, electric vehicle, different power, electric motor, mathematical modeling, traction electric motor, hybrid electric vehicle, hybrid vehicle, established speed.

Вступ

Основними напрямками розвитку дорожніх транспортних засобів є підвищення паливної економічності та екологічної чистоти. На сучасному етапі розвитку автомобілебудування перспективними є електричні транспортні

засоби. До електричних транспортних засобів будемо відносити: електромобілі, гібридні електромобілі та гібридні транспортні засоби, які використовують для приводу електричні двигуни, що отримують живлення від блоку тягових акумуляторних батарей.

Аналіз публікацій

В електричних транспортних засобах застосовуються електричні двигуни різної потужності. Навіть у Toyota Prius застосовуються тягові електричні двигуни, потужність яких відрізняється у 2 рази: від 30 кВт – у Toyota Prius-1 до 60 кВт – у Toyota Prius PHV. У гібридному електромобілі Chevrolet Volt потужність електричного двигуна становить 111 кВт [1, 2].

Потужність електричних двигунів електромобілів теж відрізняється в широких межах: Mitsubishi i-MiEV – 49 кВт, Nissan Leaf – 80 кВт, Tesla Model S – 225 кВт, 280 кВт та 310 кВт (залежно від модифікації) [3–5].

Тому вибір типу та обґрунтування мінімально необхідної потужності тягового електричного двигуна для електромобілів та гібридних транспортних засобів є актуальною проблемою.

Мета і постановка завдання

Метою дослідження є визначення рекомендацій щодо вибору потужності електричного двигуна, який застосовується для приводу електричного транспортного засобу, залежно від маси, швидкості та дальності пробігу в режимі «тільки електрика».

Об'єктом дослідження обрано процес визначення рекомендацій щодо вибору потужності тягового електричного двигуна для електричних транспортних засобів.

Обґрунтування типу електричного двигуна

Вибір тягового електричного двигуна для його використання в електричних транспортних засобах залежить від схем побудови гібридних силових установок, режимів роботи та вимог, що висуваються до електропривода. Незважаючи на те, що кожен тяговий електропривід має власні вимоги до системи управління і має оптимальні характеристики лише в певному діапазоні частот обертання, до нього висуваються такі основні вимоги: високий ККД, надійність, невелика маса, можливість регулювання та високий момент у всьому діапазоні частот обертання, придатність для рекуперативного гальмування. При порівнянні різних варіантів електроприводів

для електромобілів та гібридних транспортних засобів вирішальними факторами є ККД електричного двигуна та маса електропривода. Це пов'язано з обмеженим запасом електричної енергії у тягових акумуляторних батареях. Проведено порівняльне дослідження електроприводів з різними типами електричних двигунів (постійного струму, асинхронного, вентильного). Результати дослідження дозволили дійти висновку, що найбільш ефективним для приводу електричних транспортних засобів є вентильний двигун зі збудженням від постійних магнітів, який в 2–3 рази легше, ніж інші типи двигунів, має максимальний ККД і кращі регульовальні характеристики [6, 7].

На кафедрі автомобільної електроніки на базі синхронних генераторів побудовано декілька модифікацій тягових електроприводів з вентильним керуванням для гібридних силових установок автомобілів ЗАЗ Таврія Пікап та ЗАЗ Ланос Пікап [8, 9].

Рекомендації щодо потужності електричного двигуна

На основі багаторазового математичного моделювання та натурних випробувань електричних транспортних засобів побудовано тривимірну залежність потужності від маси та усталеної швидкості (рис. 1).

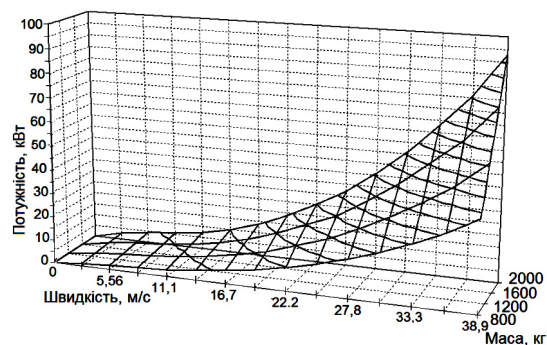


Рис. 1. Залежність потужності від маси та усталеної швидкості

Результати дослідження демонструють, що збільшення маси транспортного засобу прямо пропорційно приводить до збільшення потужності вентильного двигуна для підтримки однакової усталеної швидкості руху. А збільшення усталеної швидкості веде до збільшення потужності вентильного двигуна за експонентною залежністю за однакової маси транспортного засобу. Під час руху гібридного транспортного засобу в режимі

«тільки електрика» визначальними параметрами його економічності є маса та швидкість. При цьому на швидкостях більше 22,2 м/с (80 км/год) необхідна потужність вентиляного двигуна значно збільшується, і такі режими роботи не є економічно вигідними. Згідно з результатами проведеного дослідження можна зробити висновок, що найбільш економічний режим роботи електричного транспортного засобу в режимі «тільки електрика» знаходиться у межах 0–16,7 м/с (0–60 км/год). Для розрахунку економічного діапазону швидкісного режиму транспортного засобу в режимі «тільки електрика» проведемо розрахунок поточної витрати енергії від тягових акумуляторних батарей $E_{ТАБ}$ залежно від потужності вентиляного двигуна, що витрачається для підтримки усталеної швидкості транспортного засобу, з урахуванням ККД тягового електропривода, кВт·год/100 км

$$E_{ТАБ} = \frac{P \cdot S}{3,6 \cdot V} \cdot \eta, \quad (1)$$

де P – поточна потужність вентиляного двигуна, кВт; $S = 100$ км – пробіг транспортного засобу в режимі «тільки електрика», км; η – ККД електропривода, $\eta_{пн} = 0,9$; V – швидкість транспортного засобу, м/с.

Результати дослідження демонструють, що у режимі «тільки електрика» залежність витрати енергії тяговими акумуляторними батареями від маси транспортного засобу та усталеної швидкості руху має мінімум (рис. 2).

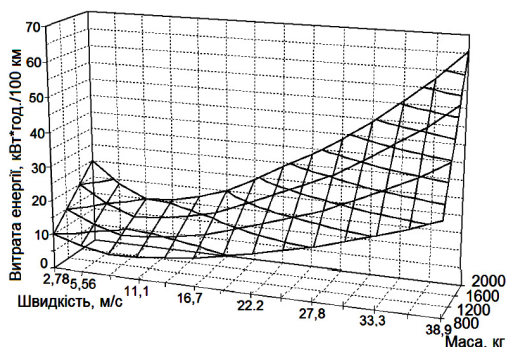


Рис. 2. Залежність витрати енергії блоку тягових акумуляторних батарей від маси та швидкості транспортного засобу

Мінімальна витрата енергії від тягових акумуляторних батарей становить за усталеної швидкості транспортного засобу в режимі «тільки електрика» дещо менше 8,3 м/с (30 км/год). Це значення швидкості підтвер-

джується натурними випробуваннями модернізованого у гібридний варіант ЗАЗ Ланос Пікап та Toyota Prius [10]. Максимальна витрата енергії від тягових акумуляторних батарей визначена за максимально розрахованої усталеної швидкості 38,9 м/с (140 км/год), яка перевищує мінімальний показник витрати енергії від тягових акумуляторних батарей за усталеної швидкості 8,3 м/с (30 км/год) майже у 4,5 раза для будь-якої маси транспортного засобу. Витрата енергії від тягових акумуляторних батарей за мінімально розрахованої швидкості 2,78 м/с (10 км/год) у 1,7 раза перевищує мінімальну витрату енергії для будь-якої маси транспортного засобу.

З урахуванням результатів проведеного дослідження можна визначити відносну дальність пробігу S транспортного засобу в режимі «тільки електрика» (рис. 3), %

$$S = \frac{E_{ТАБmin} \cdot 100 \%}{E_{ТАБ}}, \quad (2)$$

де $E_{ТАБmin}$ – мінімальна витрата енергії тягових акумуляторних батарей для транспортних засобів однакової маси окремо, кВт·год/100 км; $E_{ТАБ}$ – поточна витрата енергії тягових акумуляторних батарей, кВт·год./100 км (рис. 3).

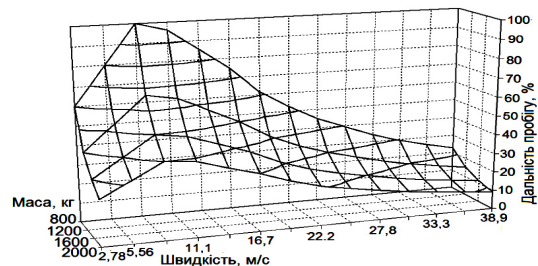


Рис. 3. Залежність відносної дальності пробігу транспортного засобу від маси та швидкості

Результати дослідження демонструють, що найбільш економічний режим знаходиться в межах 5,56–11,1 м/с (20–40 км/год) усталеної швидкості руху для транспортних засобів різної маси. Щоб подолати в режимі «тільки електрика» максимальну дальність пробігу, необхідно рухатись з усталеною швидкістю близько 8,3 м/с (30 км/год). Збільшення маси електричного транспортного засобу з 800 кг до 2000 кг знижує дальність пробігу майже у 2,5 рази. Таким чином, на

дальність пробігу значною мірою впливає усталена швидкість. Підвищення усталеної швидкості транспортного засобу в режимі «тільки електрика» з 8,3 м/с (30 км/год) до 22,2 м/с (80 км/год) удвічі знижує дальність пробігу, а підвищення усталеної швидкості транспортного засобу з 8,3 м/с (30 км/год) до 30,6 м/с (110 км/год) втричі знижує дальність пробігу. Зниження усталеної швидкості транспортного засобу в режимі «тільки електрика» з 8,3 м/с (30 км/год) до 2,78 м/с (10 км/год) знижує дальність пробігу в 1,7 раза.

Висновки

Розроблено рекомендації щодо вибору потужності тягового електричного двигуна залежно від маси, швидкості й дальності пробігу електричного транспортного засобу в режимі «тільки електрика». Ці рекомендації подано у вигляді тривимірних залежностей. Найбільш економна стала швидкість становить 6,94–8,33 м/с (25–30 км/год). Збільшення швидкості з 8,33 м/с (30 км/год) до 38,89 м/с (100 км/год) зумовлює збільшення витрати електричної енергії у 2,4 рази для будь-якої маси транспортного засобу.

Література

1. Prius-Plug-In-Hybrid / Електронні дані. – Режим доступу: <http://www.toyota.com/prius-plug-in-hybrid/>, вільний. – Назва з екрану.
2. Volt Models & Specs / Електронні дані. – Режим доступу: <http://www.chevrolet.com/volt-electric-car/specs/trim.html>, вільний. – Назва з екрану.
3. My I-MIEV Specification / Електронні дані. – Режим доступу: <http://www.mitsubishi-motors.com.au/vehicles/i-miev/specifications/>, вільний. – Назва з екрану.
4. Nissan LEAF / Електронні дані. – Режим доступу: <http://www.nissanusa.com/electric-cars/leaf/versions-specs/>, вільний. – Назва з екрану.
5. Tesla Model S / Електронні дані. – Режим доступу: <https://www.tesla.com/models/>, вільний. – Назва з екрану.
6. Закладной А.Н. Энергоэффективный электропривод с вентиляльными двигателями / А.Н. Закладной, О.А. Закладной. – К.: Либра, 2012. – 185 с.
7. Бажинов А.В. Электропривод для конверсионного автомобиля / А.В. Бажинов, В.Я. Дваденко, Хаким Мауш // Авто-

мобильный транспорт: сб. науч. тр. – 2012. – Вып. 30. – С. 7–12.

8. Смирнов О.П. Гибридная силовая установка для транспортных средств / О.П. Смирнов, А.Б. Богаевский, А.О. Смирнова // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – 2013. – № 139. – С. 207–211.
9. Бажинов О.В. Синергетичний автомобіль. Теорія і практика / О.В. Бажинов, О.П. Смирнов, С.А. Серіков та ін. – Х.: ХНАДУ, 2011. – 236 с.

References

1. Prius-Plug-In-Hybrid / Elektronni dani. _ Rejim dostupu: <http://www.toyota.com/prius-plug-in-hybrid/>, vilnii. _ Nazva z ekranu.
2. Volt Models & Specs / Elektronni dani. _ Rejim dostupu: <http://www.chevrolet.com/volt-electric-car/specs/trim.html>, vilnii. _ Nazva z ekranu.
3. My I-MIEV Specification / Elektronni dani. _ Rejim dostupu: <http://www.mitsubishi-motors.com.au/vehicles/i-miev/specifications/>, vilnii. _ Nazva z ekranu.
4. Nissan LEAF / Elektronni dani. _ Rejim dostupu: <http://www.nissanusa.com/electric-cars/leaf/versions-specs/>, vilnii. _ Nazva z ekranu.
5. Tesla Model S / Elektronni dani. _ Rejim dostupu: <https://www.tesla.com/models/>, vilnii. _ Nazva z ekranu.
6. Zakladnoi A.N., Zakladnoi O.A. *Energoeffektivnii elektroprivod s ventilnimi dvigate-lyami* [Energy efficient electric drive nith brushless motors]. Kyiv, Libra, Publ., 2012. 185 p.
7. Bajinov A.V., Dvadnenko V.Ya., Hakim Maush. *Elektroprivod dlya konversionnogo avtomobilya. Avtomobilnii transport* [Electric drive conversion car]. 2012. no. 30. pp. 7–12.
8. Smirnov O.P., Bogaevskii A.B., Smirnova A.O. *Gibridnaya silovaya ustanovka dlya transportnih sredstv. Visnik Harkivskogo nacionalnogo tehnicnogo universitetu silskogo gospodarstva imeni Petra Vasilenka* [Hibrid power plant for vehiches]. 2013. no. 139. pp. 207–211.
9. Bajinov O.V., Smirnov O.P., Serikov S.A., Dvadnenko V.Ya. *Sinergetichnii avto mobil. Teoriya i praktika*. [Synergetic car. Teory and practice]. Kharkov, KhNAHU Publ., 2011. 236 p.

Рецензент: В.І. Клименко, професор, к.т.н., ХНАДУ.