

УДК 621.313.33

DOI: 10.30977/VEIT.2022.22.0.6

Розробка асинхронного електроприводу м'якого гібридного автомобіля

Двадненко В. Я.¹, Дзюбенко О. А.¹, Пушкар О. Б.¹

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація. Для покращення економічних та екологічних параметрів м'якого гібридного автомобіля запропоновано новий алгоритм роботи тягового асинхронного електродвигуна, що знижує вартість та робить ефективнішим рекуперативне гальмування м'якого гібридного автомобіля. Запропоновано та обґрунтовано нову методичку оптимізації управління тяговим асинхронним двигуном. Показано доцільність та ефективність запропонованого алгоритму.

Ключові слова: м'який гібридний автомобіль; алгоритм керування гібридним автомобілем; асинхронний тяговий електропривод; гібридна силова установка.

Вступ

Посилення вимог щодо зниження викидів CO₂ вимагає зниження в автомобілях з ДВЗ витрати вуглеводневого палива. Одним із шляхів вирішення цієї проблеми є обладнання автомобілів з ДВЗ системою «старт-стоп» та постачання їх гібридною силовою установкою, що поєднує ДВЗ та електродвигун. При цьому в класичному гібридному автомобілі необхідні два джерела енергії: паливний бак для ДВЗ та тягова акумуляторна батарея (ТАБ) для електричної машини. Отже, гібридні автомобілі мають складнішу конструкцію і мають порівняно високу вартість.

Для класичних гібридних автомобілів необхідний потужний електродвигун, який використовують для старту з місця та набору швидкості до 30-40 км/год., щоб автомобіль мав достатнє прискорення і не випадав з транспортного потоку в цьому інтервалі швидкостей. Щоб забезпечити прискорення автомобіля 1-1,5 м/с² зазвичай необхідний електродвигун потужністю близько 100 кВт.

Аналіз публікацій

Існують і простіші гібридні автомобілі [1-5], які не мають можливості повноцінного руху на електроприводі - це м'які гібридні автомобілі (МГА). М'який гібрид або дворежимний гібрид - це, по суті, бензиновий автомобіль з електродвигуном у режимі очікування для забез-

печення додаткової потужності ДВЗ, коли потрібні вищі швидкості або додаткова потужність. М'які гібридні автомобілі економлять паливо, вимикаючи двигун на світлофорі та в умовах повільного руху в заторах, а також використовують рекуперативне гальмування, щоб зарядити бортові батареї. Електрична батарея МГА має малу ємність і тому може забезпечувати транспортний засіб лише дуже короткими прискореннями енергії та зазвичай не пропонує виключно електричну тягу.

Технологія м'якого гібрида була вперше впроваджена в таких транспортних засобах, як Honda з вбудованою системою допомоги двигунам і моделі GM з системою eAssist [2].

Незважаючи на те, що деякі м'які гібридні автомобілі мають можливість дуже повільного руху на електроприводі, цей рух через малу потужність електроприводу непридатний для повноцінного міського трафіку. В алгоритмах деяких МГА електропривод використовується як стартер-генератор та додаткове джерело потужності на допомогу ДВЗ [4,5].

У роботі [6] наведено обґрунтування можливості створення недорогого гібридного автомобіля з електроприводом порівняно невеликої потужності, що може залишатися повноцінним учасником міського руху. Це досягнуто заміною звичайного алгоритму роботи гібридного автомобіля, коли рух починається на електроприводі, а потім у роботу вступає ДВЗ, на зворотний алгоритм: при якому початок руху

відбувається на ДВЗ, а потім рівномірний рух у місті може проводитися на електроприводі при зупиненому ДВЗ. Такий алгоритм заснований на тому, що для підтримки рівномірного руху при швидкостях до 50-60 км/год потрібна порівняно мала потужність і порівняно малий крутний момент. Що, для легкового автомобіля, можливо реалізувати за потужності електричної машини близько 10 кВт [6]. У цьому режимі двигун внутрішнього згоряння вимкнений і електродвигун забезпечує рух і, при необхідності, рекуперативне гальмування. На таких, характерних для міського руху швидкостях, при правильно обраному передатному числі від валу електродвигуна до коліс, будуть доступні і порівняно невеликі позитивні та негативні прискорення (при рекуперативному гальмуванні) для підтримки руху автомобіля в транспортному потоці. Якщо потрібно мати більший крутний момент, можна просто перейти на ДВЗ, при цьому запуск ДВЗ проводиться на таких швидкостях від кінетичної енергії автомобіля без стартера і відбувається практично непомітно. Якщо потрібне екстрене гальмування – доступна штатна гальмівна система автомобіля. Основною перевагою такого алгоритму є те, що він не вимагає нових навичок керування для водія та дозволяє помітно підвищити ефективність рекуперації [7, 8].

За показаннями компанії Toyota м'які гібридні автомобілі забезпечують приблизно 15% покращення споживання палива при вимірюванні за методом 10-15 і 30% покращення у міському режимі стандарту Toyota порівняно з базовою моделлю [4,5]. Однак, Toyota заявила, що система Mild Hybrid, за очікуваннями, принесе значні переваги щодо зменшення загальної кількості CO₂ і викидів, оскільки система може застосовуватися до широкого діапазону типів транспортних засобів завдяки простоті конструкції системи, щоб звичайні двигуни могли бути сумісні з гібридною системою без значних змін.

Іншою особливістю Mild Hybrid Cars є використання системи живлення підвищеної напруги 42/36 В, 56/48 В [8,9]. Система живлення підвищеної напруги вважається наступним поколінням автомобільних джерел систем живлення. Така система живлення визнана напрямком майбутнього в автомобільній промисловості Японії, США та Європи. Конструктивно, для м'якого гібридного автомобіля, це означає меншу кількість комірок акумуляторів, а отже меншу масу результуючої системи.

Мета та постановка задачі

Метою роботи є покращення економічних та екологічних характеристик м'якого гібридного автомобіля за рахунок застосування недорогого асинхронного електродвигуна з частотним керуванням у скалярному режимі, а також більш ефективного використання режиму розгін-накат та режиму рекуперативного гальмування.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- проаналізувати режими роботи гібридного автомобіля та визначити найбільш доцільні з них для м'якої гібридної конструкції;
- проаналізувати типи конструкцій м'яких гібридних автомобілів;
- обґрунтувати вибір типу електроприводу для конструкції м'якого гібридного автомобіля;
- розробити спосіб управління для рекомендованого типу електроприводу.

Особливості роботи м'якої гібридної силової установки

З проведеного аналізу видно, що м'який гібридний автомобіль не використовує електропривод в найбільш важких умовах старту, та розгону автомобіля, однак, при цьому, дозволяє економити до 30% палива в міському режимі руху. Розглянемо, за рахунок чого це відбувається: кількість електричної енергії, що повторно використовується в міському трафіку під час рекуперації залежить від кінетичної (або потенційної, при русі на спусках) енергії, потужності електричної машини і залишкової ємності тягової акумуляторної батареї (ТАБ). Оскільки енергетична ємність ТАБ у гібридному автомобілі порівняно невелика, дуже важливо під час руху автомобіля регулярно витрачати енергію ТАБ на корисну роботу, тим самим звільняючи ємність у ТАБ для чергового рекуперативного гальмування. Саме це звільнення ємності відбувається при електричному русі з малими прискореннями на помірній швидкості в міському трафіку. Це дозволяє забезпечити можливість ТАБ прийняти електричну енергію при черговому рекуперативному гальмуванні.

Такий алгоритм під час руху електроприводом також дозволяє ефективно використовувати у міському трафіку режим розгін-накат, тобто. використовувати кінетичну енергію безпосередньо для руху без перетворень, а отже, і без втрат на перетворення. Це

обумовлено тим, що при електроприводі маємо простішим і зручнішим, для водія, використання режимів: «накат» - коли педалі акселератора і гальма відпущені; «розгін» - коли натиснута педаль акселератора; «рекуперативне гальмування» - коли педаль гальма тільки відведена від упору; «екстремне гальмування» - коли педаль гальма сильно натиснута.

Обґрунтування вибору тягового електродвигуна

Обґрунтування доцільності вибору тягового асинхронного електродвигуна для м'якого гібридного автомобіля з описаним вище алгоритмом роботи гібридної силової установки, засноване на наступних особливостях асинхронного двигуна. Асинхронний електродвигун (АД) найбільш простий по конструкції і найбільш технологічний у виробництві, має порівняно низьку вартість, високу надійність і тривалий термін служби при мінімальних експлуатаційних витратах, асинхронний двигун добре працює на високих обертах в тяговому режимі, може ефективно гальмувати в режимі рекуперації і має мінімальний опір у знеструмленому стані (в режимі «накат»).

Управління АД при роботі з постійною частотою найбільш просте і дешево, в колишні роки таке управління було домінуючим, але має великі проблеми з пуском, а також регулюванням частоти обертання і крутного моменту, низьким ККД, поганим коефіцієнтом потужності і т.д. АД при проектуванні розраховується на мінімум втрат при номінальній потужності, але при роботі з постійною частотою мережі зі зменшенням потужності, що відбирається від асинхронного двигуна, ККД двигуна різко знижується й натомість збільшуються відносні електричні втрати потужності.

Для вирішення цих проблем останнім часом широко застосовують електронне широтно-імпульсне управління змінною напругою та частотою кола статора асинхронного електродвигуна. Таке управління передбачає живлення асинхронного електродвигуна змінною напругою від електронного перетворювача постійної напруги в змінну (інвертора) з програмним завданням необхідних, залежно від навантаження і режиму роботи електродвигуна, значеннями частоти і напруги. Таке управління наближає характеристики асинх-

ронного електродвигуна до характеристик двигуна постійного струму і стає придатним для тягового електроприводу в транспортних застосуваннях.

АД дозволяє практично повністю виключити технічне обслуговування протягом ресурсу автомобіля. У сучасних електромобілях та гібридних автомобілях асинхронний електродвигун конкурує з вентилями двигунами на основі синхронної електричної машини із збудженням від постійних магнітів, при цьому асинхронний двигун має значно менший опір обертанню в знеструмленому режимі.

Обґрунтування вибору способу управління тяговим АД в МГА застосуваннях

Розрізняють скалярне та векторне частотне управління. У режимі роботи двигуна з постійним навантаженням векторне управління не відрізняється від скалярного - векторне точно так само, як і скалярне, буде живити електродвигун при номінальному навантаженні оптимальними значеннями частоти і напруги.

Область характеристик на механічній характеристиці тягового електродвигуна умовно можна розділити на дві зони (рис. 1) [10].

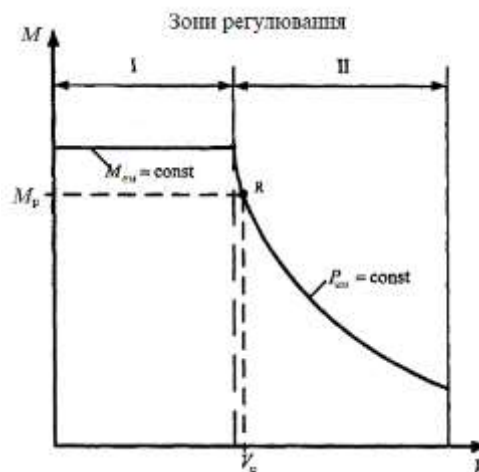


Рис. 1. Механічна характеристика тягового асинхронного двигуна

Зона I - зона підтримки постійного максимального моменту $M = \text{const}$, вона використовується для набору швидкості в нетривалих режимах. Зона II - область, що накладає обмеження по потужності $P = \text{const}$. У цій зоні розташовується точка, що відповідає рівномірному руху з розрахунковою швидкі-

стю V_p , яка обмежена в тривалому режимі заданою потужністю. Для кожної зони механічної характеристики тягового електроприводу пред'являються різні вимоги. У першій, необхідна підтримка максимально можливого моменту за умовами зчеплення або за умови обмеження фазних струмів, які можуть змінюватись в залежності від різних факторів, як зовнішніх, так і внутрішніх. Головним показником ефективності роботи у цій зоні є швидкість управління моментом ТАД залежно від зміни необхідного моменту.

У другій зоні механічної характеристики ТАД, на відміну від першої, робота електродвигуна може відбуватися при фазному струмі нижче обмеження, оскільки, через високу кутову швидкість і обмеження потужності, тут не потрібне високе значення моменту і фазного струму, як при роботі в зоні I. Тягово-енергетичні характеристики у цій зоні істотно впливають на загальну витрату енергії. Тому, при роботі на гіперболічній ділянці характеристики ТАД, найбільш доцільно використовувати принцип управління з мінімумом електричних втрат потужності в

системі інвертор-двигун.

Аналіз різних систем управління показав [10], що найбільш ефективно використання системи управління, в якій для зони I використовується регулювання, засноване на принципі векторного управління, а в другій зоні – скалярного. При управлінні в I зоні доцільно підтримувати постійний, обмежений на певному допустимому рівні, фазний струм статора. Відповідний цьому струму максимальний обертовий момент забезпечує векторне управління, для чого, при векторному управлінні ТАД, підтримується оптимальне ковзання, при якому магнітні поля ротора і статора будуть ортогональні. Для зони II доцільно використовувати скалярне управління підтримки необхідної швидкості за принципом мінімуму електричних втрат у системі інвертор-двигун.

Під час руху з постійною швидкістю та керуванням у другій зоні можна розглянути характеристики асинхронного двигуна (рис 2), що живиться від мережі з постійною частотою, наприклад, наведені в роботі [11].

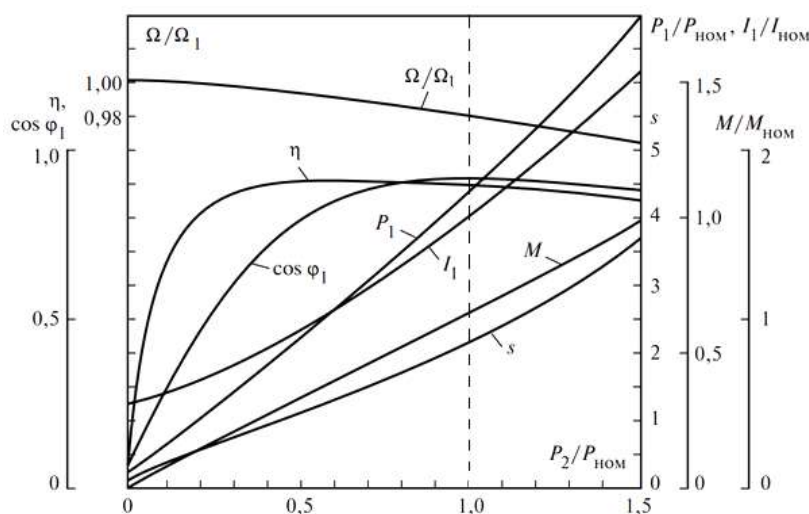


Рис. 2. Робочі характеристики асинхронного двигуна

На рис. 2 застосовані такі позначення: Ω – кутова швидкість ротора, Ω_1 – кутова швидкість магнітного поля, що обертається, $\cos \varphi_1$ – коефіцієнт потужності, η – коефіцієнт корисної дії, P_1 – споживана від мережі активна потужність, $P_{ном}$ – номінальна механічна потужність електродвигуна, $P_2 \approx P_{мех}$ – механічна потужність електродвигуна, M – крутний момент електродвигуна, $M_{ном}$ – номінальний крутний момент електродвигуна, I_1 – струм статорної обмотки електродвигуна, $I_{ном}$ – номінальний струм статорної обмотки

електродвигуна, s – ковзання у відсотках.

Вертикальна пунктирна лінія на рис. 2 відповідає номінальному навантаженню. АД проектується так, щоб він мав максимальний ККД та коефіцієнт потужності при номінальному навантаженні. Зі збільшенням ККД зменшується споживана електродвигуном активна потужність, а зі збільшенням коефіцієнта потужності зменшується споживана ним повна потужність за рахунок зниження реактивної потужності. В результаті обох причин зменшується споживаний обмоткою

статора струм:

$$I_1 = P_2 / (m_1 U_1 \eta \cos\phi_1), \quad (1)$$

де m_1 – число фаз статорної обмотки, U_1 – діюча напруга статорної обмотки.

Мінімізуючи струм статора в робочій точці механічної характеристики (на рис.1 точка з координатами V_p ; M_p) отримаємо систему адаптивного скалярного керування.

Запропонований вище алгоритм роботи м'якого гібридного автомобіля для рівномірного руху на електроприводі вимагає використання тільки другої зони механічної характеристики ТАД, а отже, у такому автомобілі допустимо використання скалярного управління ТАД. Системи скалярного управління АД мають більш широке та просте виробництво і, що важливо для МГА, менш дороге обладнання для скалярного управління добре зарекомендувало себе в традиційних областях застосування АД, і може бути застосоване в м'якому гібридному автомобілі з електроприводом при рівномірному русі в міських умовах. Це можливо тому, що скалярний режим асинхронного електродвигуна з частотним керуванням добре працює при високих обертах, що змінюються в малому інтервалі.

Регулюючи частоту і напругу живлення статора, можна змінювати ковзання і цим змінювати коефіцієнт потужності, отже досягти високого ККД, а значить використовувати принцип управління з мінімуму електричних втрат потужності в системі інвертор-двигун.

У зв'язку з цим пропонується використо-

вувати принцип раціонального амплітудно-частотного управління з мінімумом втрат у системі автономний інвертор напруги - тяговий асинхронний двигун.

Відповідно до закону М.П. Костенко [12], якщо нормована напруга дорівнює добутку нормованої частоти на нормований момент у ступені $1/2$, тобто:

$$\frac{U}{U_{\text{НОМ}}} = \frac{f}{f_{\text{НОМ}}} \sqrt{\frac{M}{M_{\text{НОМ}}}}, \quad (2)$$

має місце робота асинхронного двигуна при практично постійному коефіцієнті потужності, постійному запасі стійкості та постійному абсолютному ковзанні. Оскільки напруга і частота можуть бути задані і контролюються системою управління, залишається непередбачуваний момент навантаження, що змінюється в деяких межах. Однак, якщо ввести управління напругою, орієнтуючись не лише на зміну частоти (швидкості руху), а й на підтримку оптимального коефіцієнта потужності, то, як впливає із закону Костенка, можна врахувати і зміну навантаження ТАД [13].

Слідкуюча система управління ковзанням при тязі може бути замкнута за струмом фаз і напругою фаз з урахуванням коефіцієнта потужності, тому що коефіцієнт потужності легко обчислюється спеціалізованим мікроконтролером по сигналах датчиків фазного струму і фазної напруги. Функціональна схема такої системи наведена на рис. 3.

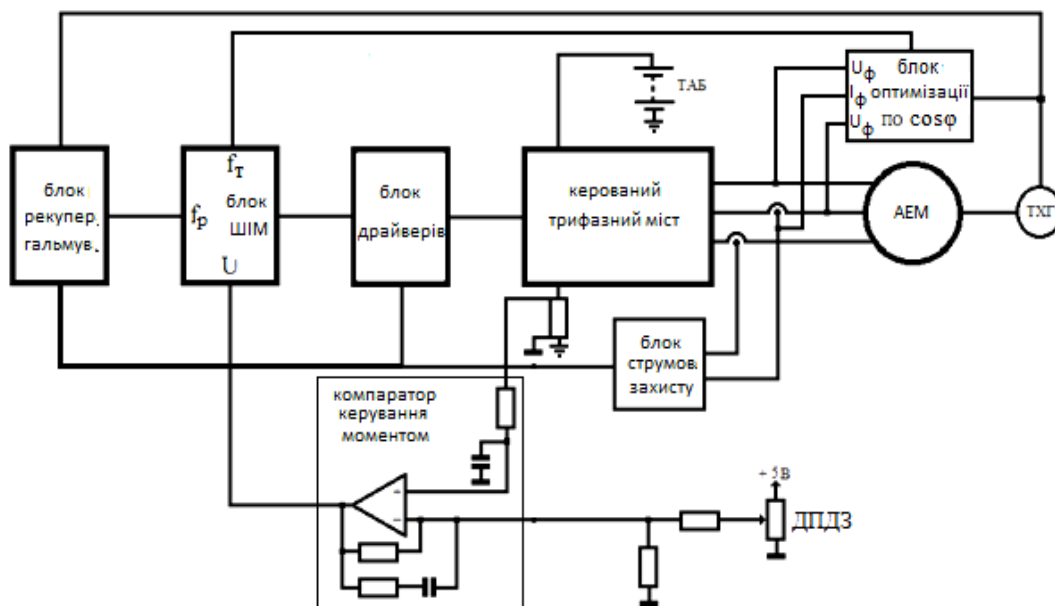


Рис. 3. Функціональна схема системи керування

На рис.3 використані такі скорочення: ДПДЗ – датчик положення дросельної заслінки, АЕМ – асинхронна електрична машина, ТХГ – тахогенератор (може бути використаний датчик швидкості автомобіля), ШІМ – широтно-імпульсна модуляція, f_r – частота у тяговому режимі, f_p – частота в режимі рекуперації, U – напруга ТАБ, I_ϕ – струм фази, U_ϕ – напруга фази.

Висновки

Враховуючи викладене, можна зробити висновок, що м'який гібридний автомобіль із відносно малопотужним асинхронним електродвигуном та тяговою акумуляторною батареєю малої ємності можна зробити ефективним та економічно вигідним. Реалізація запропонованої конструкції дозволяє створити гібридну силову установку м'якого гібридного автомобіля, що дозволяє покращити економічні та екологічні параметри, а також дозволяє досягти нижчої вартості у порівнянні з гібридними автомобілями з електродвигунами на основі синхронної електричної машини з постійними магнітами. Запропонована система управління АД та алгоритм роботи гібридної силової установки в різних режимах руху, дозволить знизити не тільки вартість але і вагу м'якого гібридного автомобіля. Отримані результати мають практичне значення для транспортної галузі.

Подяка

Ця робота проводилась у рамках Наукового дослідження «Розробка системи, що покращує енергоефективність та екологічність автотранспорту на базі технології “mild hybrid”», 03-53-22, що фінансується Міністерством освіти і науки України.

Конфлікт інтересів

Автори заявляють, що немає конфлікту інтересів щодо публікації цієї статті.

Література

1. Taoudi, A., Naque, M. S., & Luo, C. (2021). Design and Optimization of a Mild Hybrid Electric Vehicle with Energy-Efficient Longitudinal Control. *SAE International Journal of Electrified Vehicles*, 10(1), 55.
2. Research and Markets. (2022). *Global Hybrid Electric Vehicle Market Report 2022: A \$523 Billion Market by 2027 Featuring Toyota, Volkswagen, Honda, Nissan, Renault, BMW, Suzuki, Wuling, Volvo, General Motors.* <https://www.globenewswire.com/news-release/2022/10/26/2541720/28124/en/Global-Hybrid-Electric-Vehicle-Market-Report-2022-A-523-Billion-Market-by-2027-Featuring-Toyota-Volkswagen-Honda-Nissan-Renault-BMW-Suzuki-Wuling-Volvo-General-Motors.html>
3. Derek Fung. (2014). *Hybrids explained: Mild v Full v Plug-in v Extended Range Electric Vehicle.* <https://www.drive.com.au/news/hybrids-explained-mild-v-full-v-plug-in-v-extended-range-electric-vehicle/>
4. TOYOTA. (2020). *Self-charging hybrid vs. Mild hybrid – what is the difference?* <https://www.toyota.ie/company/news/2020/hybrid-vs-mild-hybrid>
5. *The Widespread Introduction of the TOYOTA Mild Hybrid Cars (HEV) May Promote an Earlier Introduction of 42V Cars Introduced into low-priced sedans following the 2001 Crown Royal / Automotive Information Platform.* Dec. 07, 2002. 128
6. Двадненко В.Я., Пушкар О.Б. (2019). Поліпшення економічних та екологічних характеристик мікрогібридного автомобіля. *Автомобільний транспорт*, 45, 12-22. Dvadnenko V.Ia., Pushkar O.B. (2019). Polipshennia ekonomichnykh ta ekolohichnykh kharakterystyk mikrohibrydnoho avtomobilia [Improvement of the economic and ecological characteristics of the microhybrid vehicle]. *Avtomobilnyi transport*, 45, 12-22.
7. x-engineer. (2020). *What is the difference between micro, mild, full and plug-in hybrid electric vehicles.* <https://x-engineer.org/micro-mild-full-hybrid-electric-vehicle/>
8. x-engineer. (2021). *Types of Mild Hybrid Electric Vehicles (MHEV).* <https://x-engineer.org/mild-hybrid-electric-vehicles-mhev-types/>
9. x-engineer. *Mild Hybrid Electric Vehicle (MHEV) – components (Continental).* <https://x-engineer.org/mild-hybrid-electric-vehicle-mhev-components/>
10. Шаговик А.Е. (2006). Система адаптивного управления тяговым асинхронным приводом магистрального локомотива. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, СПб: «ПГУПС». Shohovyk A.E. (2006). *Systema adaptivnoho upravleniya tiahovim asynkhronnim pryvodom mahystralnoho lokomotyva [Adaptive control system for traction asynchronous drive of a mainline locomotive].* Dyssertatsiya na soyskanye uchenoi stepeny kandydata tekhnicheskyykh nauk, SPb: «PHUPS».
11. Иванов-Смоленский А.В. (2004). *Электрические машины.* М.: Издательство МЭИ, 532. Ivanov-Smolenskiy A.V. (2004). *Elektricheskie mashiny [Electrical machines].* М.: Izdatelstvo MEI, 532.

12. Усольцев А.А. (2006). Частотное управление асинхронными двигателями. Учебное пособие. СПб: СПбГУ ИТМО, 94. Usoltsev A.A. (2006). Chastotnoe upravlenie asinhronnyimi dvigatelyami [Frequency control of induction motors]. Uchebnoe posobie. SPb: SPbGU ITMO, 94.
13. Двадненко В.Я., Дзюбенко О.А. Патент на корисну модель України. Спосіб частотного управління асинхронним тяговим електродвигуном. ХНАДУ. – № у 202107659; заявл. 28.12.2021; опубл. 22.06.2022, Бюл. №25. Dvadenko V.Ia., Dziubenko O.A. Patent na korysnu model Ukrainy. Sposib chastotnoho upravlinnia asynkhronnym tiahovym elektrodvyhunom [The method of frequency control of an asynchronous traction electric motor]. KhNADU. № у 202107659; zaiavl. 28.12.2021; opubl. 22.06.2022, Biul. №25.

Двадненко Володимир Яковлевич¹, д.т.н.,
проф. каф. автомобільної електроніки,
dvdadenkovladimir@gmail.com,
тел. +38 067-733-04-41,
ORCID: 0000-0002-6634-3431

Дзюбенко Олександр Андрійович¹, к.т.н., доц.
каф. автомобільної електроніки,
тел. +38 066-768-41-16,
dzyubenko.alan@gmail.com,
ORCID: 0000-0002-0387-4956

Пушкар Олег Борисович, аспірант, каф.
автомобільної електроніки, тел. +38 095-2463007,
oleg.pushkar83@gmail.com

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.

Asynchronous Motor in a Mild Hybrid Vehicle

Abstract. Problem. Strengthening requirements for reducing CO₂ emissions requires reducing fuel consumption in cars with internal combustion engines. One of the ways to solve this problem is to equip cars with a hybrid power plant that combines an internal combustion engine and an electric motor. A classic hybrid vehicle requires two energy sources: a fuel tank for the internal combustion engine and a power battery for the electric motor. Therefore, hybrid vehicle has a more complex design and a relatively high cost. A mild hybrid vehicle is a new concept of a hybrid vehicle for urban use that is emerging today. Such MHVs have a simpler design and also allow you to save up to 30% of fuel in urban driving mode. **Goal.** The purpose of the work is to improve the economic and environmental

characteristics of a mild hybrid car, due to the use of an inexpensive asynchronous electric motor with frequency control in the scalar mode, as well as more effective use of power plant control system algorithms. **Methodology.** Analytical research methods were used to develop algorithms for effective use of the power plant in acceleration, uniform motion, regenerative braking, and stopping modes. **Mathematical modeling and calculation methods** were used to justify the use of an asynchronous motor for the power plant of a mild hybrid vehicle. **Results.** The use of a low-power asynchronous motor in the power plant of a mild hybrid vehicle is mathematically justified. The use of the principle of rational amplitude-frequency scalar control is proposed. An algorithm and a scheme for the implementation of an induction motor control system with support for the optimal power factor have been developed. **Originality.** Instead of using a valve synchronous electric motor with an expensive control system, it is proposed to use an asynchronous motor, which has advantages in the power plant of a mild hybrid vehicle. An asynchronous motor will allow the use of effective algorithms of uniform motion and regenerative braking modes. **Practical value.** The design of a soft hybrid vehicle with the use of a low-power asynchronous electric motor makes it efficient and cost-effective. The scalar control method of an asynchronous motor, with the slip control, makes it possible to obtain a system with high control quality and lower cost of implementation.

Key words: mild hybrid vehicle; hybrid vehicle control algorithm; asynchronous traction electric motor; traction electric drive; hybrid power plant.

Dvadenko Volodymir¹, professor, Doct. of Science, Vehicle Electronics Department, tel. +38 067-733-04-41, dvdadenkovladimir@gmail.com, ORCID: 0000-0002-6634-3431

Dziubenko Oleksandr¹, Ph.D., Assoc. Prof. Vehicle Electronics Department, tel. +38 066-768-41-16, dzyubenko.alan@gmail.com, ORCID: 0000-0002-0387-4956

Pushkar Oleg, graduate student, Vehicle Electronics Department, tel. +38 095-246-30-07, oleg.pushkar83@gmail.com

¹Kharkov National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudrogo str., Kharkiv, 61002, Ukraine.