

Удосконалення системи рекуперативного гальмування м'якого гібридного автомобіля

Двадненко В. Я.¹

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна

Надійшла: 15.07.2025. Прийнято: 01.12.2025. Опубліковано: 12.12.2025. Відкритий доступ: CC BY 4.0.

Анотація. М'які гібридні автомобілі є вдалим компромісом щодо співвідношення ціна-якість серед гібридних автомобілів. Для зниження вартості і ваги, а також підвищення ефективності рекуперації м'якого гібридного автомобіля запропоновано новий алгоритм роботи двигунів силової установки у режимі міського руху. У пропонуваному автомобілі рівномірний рух на ДВЗ з відносно невисокою швидкістю (40-50 км/г) замінений на рух з електроприводом та зупиненим ДВЗ. Також виключений режим холостого ходу ДВЗ за рахунок системи старт-стоп. Старт з місця і набір швидкості треба проводити на ДВЗ. При такому режимі руху важливе значення набуває режим службового рекупераційного гальмування електродвигуном-генератором, при якому важливо достатнє електричне навантаження тягового електродвигуна-генератора, що працює в режимі генератора. Мала ємність тягового акумулятора м'якого гібридного автомобіля і відносно висока швидкість з якою проводиться рекуперативне службове гальмування швидко призводить до малої ефективності електричного гальмування через знижений струм заряду тягового акумулятора малої ємності, коли він заряджений. Показано, що в цьому випадку достатнє уповільнення у процесі рекуперативного гальмування буде при підключенні активної трифазної нарузки змінного струму до електродвигуна-генератора.

Ключові слова: алгоритм роботи двигунів гібридного автомобіля, м'які гібридні автомобілі, вентильний електродвигун, тяговий електропривод, гібридна силова установка.

Вступ

Гібридний електромобіль (HEV) має принаймні два джерела енергії для руху: двигун внутрішнього згорання та електродвигун. Є три основні причини, через які автовиробники розробляють і продають HEV: скорочення викидів CO₂ (шляхом зниження витрати палива), скорочення токсичних викидів відпрацьованих газів, поліпшення динаміки трансмісії (шляхом збільшення загальної потужності та крутного моменту [1-5]. Трансмісія HEV досить складна, тому що вона містить усі компоненти транспортного засобу з ДВЗ, а також більшість компонентів чистого електромобілю (EV). Крім того, залежно від рівня гібридизації йому потрібні два джерела енергії: паливний бак для двигуна і батарея для електричної машини. Все це безпосередньо впливає на підвищення ціни автомобіля на ринку [6]. У спробах автомобільних виробників інтегрувати компоненти чистого електромобіля з найменшим втручанням і зміною початкової

конструкції автомобіля, була розроблена архітектура MHEV (м'який гібридний електромобіль). Зроблено це з метою знизити вартість виробництва, а відповідно і ціну автомобіля на виході, що позитивно впливає на конкуренцію гібридних електромобілів в порівнянні з класичними автомобілями з ДВЗ [6].

Також, як і в класичному гібридному автомобілі, у м'якому гібридному автомобілі необхідні два джерела енергії: паливний бак та тягова акумуляторна батарея (ТАБ), а також два двигуни: ДВЗ і тяговий електродвигун-генератор. Однак на відміну від класичного гібрида в м'якому гібридному автомобілі встановлюють менш потужний електродвигун і ТАБ із меншою енергетичною ємністю. Це рішення призводить до того, що електрична машина не може повністю замінити ДВЗ на усіх режимах роботи у зв'язку зі своєю недостатньою потужністю, але цілком здатна частково знизити навантаження з ДВЗ, що в підсумку допомагає знизити витрати палива.

Аналіз публікацій

Зменшити вартість гібридного автомобіля вдалося у м'яких гібридних автомобілях [7-10]. У м'якій гібридній архітектурі РЗ (за класифікацією роботи [7]) електродвигун передає крутний момент до трансмісії. Основною перевагою РЗ є найвищий потенціал рекуперації енергії. Порівняно з конфігураціями Р0, Р1 і Р2 втрати двигуна і трансмісії під час вимкнення трансмісії не враховуються під час рекуперації енергії.

Архітектура РЗ також мають потенціал для електричного режиму водіння (повзучість), якщо вони оснащені електричною машиною з високим крутним моментом. У зв'язку з тим, що електрична машина розташована на стороні приводу, для архітектури РЗ, щоб виконати запуск двигуна, на стороні двигуна має бути встановлена інша електрична машина. Ця функція може бути досягнута за допомогою стандартного посиленого стартера (12 В).

У роботі [10] розглянуто м'який гібридний автомобіль у якому проводиться рух у міському режимі на електроприводі дорогами загального користування, але при цьому старт з місця за допомогою системи старт-стоп [11] та розгін до 40 – 50 км/г проводиться на ДВЗ. На електроприводі ж виконується порівняно рівномірний рух зі швидкостями 40 – 50 км/г із заглушеним ДВЗ, що не вимагає великих прискорень і, відповідно, великої потужності. При такому режимі руху важливе значення набуває режим службового рекупераційного гальмування електродвигуном, при якому важливе достатнє електричне навантаження тягового електродвигуна, що працює в режимі генератора. Основним навантаженням при цьому служить тяговий акумулятор, що заряджається, проте може скластися ситуація, що акумулятор виявляється майже повністю заряджений і споживає на зарядку занадто малий струм. Електромотор-генератор, пов'язаний з ведучими колесами, починає виробляти електроенергію для заряджання акумуляторної батареї відразу після включення режиму рекупераційного гальмування, тобто, після легкого натискання на педаль гальма, щоб увімкнувся стоп-сигнал, а колодки ще не торкалися гальмівних дисків або гальмівних барабанів [10]. Якщо уповільнення виявиться занадто велике, то водій відпускає педаль гальма і, при необхідності, натискає знову. Такий режим рекуперації економить паливо та продовжує термін служби гальмівних колодок. Але така система має й недоліки. У міру

заряджання акумулятора зменшується струм зарядки акумулятора, а також ефективність гальмування електродвигуном зменшується, що змушує водія сильніше натискати на гальмівну педаль, щоб у дію вступали гальмівні колодки. На затяжному спуску настає перегрів гальмівних колодок і гальмівне уповільнення автомобіля може зникнути, тому на такому спуску водієві доводиться підключати ДВЗ у режимі примусового холостого ходу для забезпечення безпеки руху. У той же час у м'якому гібридному автомобілі при недостатній температурі ДВЗ система керування запускає його на холостому ході для прогріву, навіть якщо не потрібна зарядка акумулятора, особливо це важливо в холодну пору року [1].

У роботі [11] розглянуто принципи роботи системи старт-стоп, яка потрібна на функціонування запропонованого алгоритму рекупераційного гальмування м'якого гібридного автомобіля. У роботі [12] запропоновано принцип збереження зайвої рекупераційної енергії у вигляді теплової енергії рідини, що охолоджує.

Мета та постановка задачі

Метою роботи є підвищення ефективності рекупераційного гальмування і поліпшення теплового балансу ДВЗ в м'якому гібридному автомобілі, шляхом перетворення кінетичної енергії автомобіля, що рухається, в електричну енергію і направлення її на зарядку акумуляторної батареї, а також напрямки надлишку виробленої електроенергії на нагрівання охолоджуючої рідини, температура якої при непрацюючому ДВЗ знижується. У м'якому гібридному автомобілі застосовують тягову батарею порівняно невеликої ємності, тому часто виходить надлишок виробленої при гальмуванні електроенергії. Така ситуація буде, приміром, при рекупераційному гальмуванні на затяжному спуску.

Для досягнення цієї мети необхідно ввести електричні нагрівачі охолоджуючої рідини ДВЗ і автоматичний перемикач рекупераційної електроенергії, що виробляється, з зарядки акумуляторної батареї на ці нагрівачі.

Блок-схема системи рекупераційного гальмування гібридного автомобіля

З цієї метою в системі рекупераційного гальмування гібридного автомобіля, введений електричний нагрівач охолоджувальної рідини в системі охолодження ДВЗ, а також

введений блок керування нагрівачем та заряджання акумуляторної батареї, пов'язаний з датчиком положення педалі гальма (стоп-сигналом) [8].

На рис. 1 зображено блок-схему запропонованої системи рекуперативного гальмування гібридного автомобіля, де позначені: 1 - ДВЗ, 2 - зчеплення, 3 - коробка передач, 4 - пасова передача, 5 - електромотор-генератор, 6 - електричний нагрівач охолоджувальної рідини в системі акумуляторної батареї; 8 - блок управління електромотором-генератором; 9 - акумуляторна батарея. Крім того, на рисунку позначені: 10 - ведучі колеса автомобіля, 11 - головна передача.

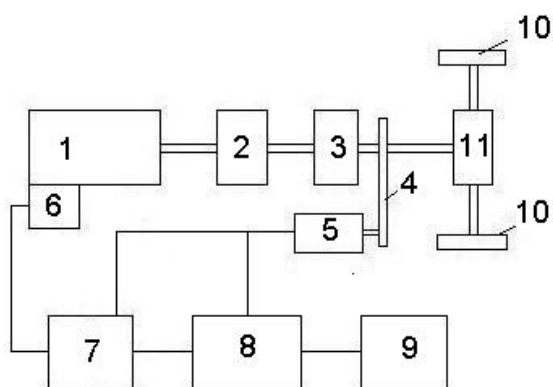


Рис. 1. Блок-схема системи гальмування рекуперативного гібридного автомобіля

Працює система рекуперативного гальмування м'якого гібридного автомобіля так: при впливі на педаль гальма на початку її ходу до вступу в роботу штатної гальмівної системи з'являється сигнал датчика положення педалі гальма. Блок управління нагрівачем і зарядкою акумуляторної батареї 7 через блок керування електромотора-генератора, що забезпечує ефективне гальмування автомобіля електромотором-генератором 5. Одночасно блок управління нагрівачем і зарядкою акумуляторної батареї 7 або спрямовує потужність, що виробляється мотором-генератором для зарядки акумулятора 9, або, залежно від струму зарядки, підключає нагрівач 6 для підігріву охолоджуючої рідини ДВЗ.

Чому потрібне активне трифазне навантаження

Здавалося б досить навантажити генератор одним активним нагрівачем після випрямляча, проте при цьому, як буде показано нижче, гальмівний момент буде меншим, ніж якщо підключати три активних нагрівача

змінного струму. Гальмівний момент при цьому легко регулювати в широких межах легким періодичним натисканням та відпусканням педалі гальма, щоб тільки спрацював стоп-сигнал, вибираючи ступінь гальмування часом включення та вимикання режиму рекуперативного гальмування [10].

Покажемо, що по змінному струму можна зняти з генератора більш велику потужність і забезпечити приблизно вдвічі ефективніше рекуперативне гальмування. Як відомо, трифазний випрямляч має шестипульсовий сигнал. Оскільки на один період фазної напруги у випрямленій напрузі припадає шість пульсацій, і оскільки відбувається двонапівперіодне випрямлення, то на половину періоду фазної напруги, на 180° , припадає три пульсації. Діючою вихідною напругою випрямляча від кожної фази напівперіоду буде тільки третина напівперіоду, а саме 60° в центрі напівперіоду, перші 60° і останні 60° цього напівперіоду діючою вихідною напругою випрямляча будуть напруги двох інших фаз трифазного випрямляча. Причому перші 60° і останні 60° напруга напівперіоду кожної фази на вихід випрямляча не пропустять відповідні цій фазі діоди, оскільки вони будуть замкнені напругою інших фаз, що перевищує напругу цієї фази. Таким чином, тільки третина часу напівперіоду кожної фази проходить на вихід трифазного мостового випрямляча і в результаті отримуємо низький коефіцієнт потужності кожної фази або, іншими словами, втрачаємо енергію спотворень форми струму кожної фази щодо форми напруги цієї фази. Порахуємо співвідношення пропущеної і непропущеної на вихід випрямляча енергій одного напівперіоду, а оскільки таке ж співвідношення у всіх інших напівперіодах, це співвідношення буде справедливо для всього випрямляча. Непропущену енергію W_1 отримаємо через інтеграл:

$$W_1 = \frac{U^2}{R} \int_0^{\pi/3} (\sin x)^2 dx + \frac{U^2}{R} \int_{2\pi/3}^{\pi} (\sin x)^2 dx$$

де U – амплітуда ЕРС генератора, R – сумарний опір навантаження генератора та внутрішній опір генератора.

Окремо візьмемо інтеграл від квадрата синусу. Зауважимо, що:

$$\cos 2x = (\cos x)^2 - (\sin x)^2,$$

і що:

$$(\cos x)^2 + (\sin x)^2 = 1,$$

звідси:

$$(\cos x)^2 = 1 - (\sin x)^2.$$

Тоді:

$$\cos 2x = 1 - 2(\sin x)^2,$$

тоді:

$$\int (\sin x)^2 dx = \int \left(\frac{1}{2} - \frac{\cos 2x}{2} \right) dx + C,$$

$$\int (\sin x)^2 dx = \frac{x}{2} - \frac{\cos 2x}{4} + C$$

де C – невизначена константа.

Підставивши межі інтегрування маємо не-пропущену енергію:

$$\begin{aligned} W_1 &= \frac{U^2}{R} \int_0^{\pi/3} (\sin x)^2 dx + \frac{U^2}{R} \int_{2\pi/3}^{\pi} (\sin x)^2 dx = \\ &= 0,30709 \frac{U^2}{R} + 0,30709 \frac{U^2}{R} = 0,61418 \frac{U^2}{R}. \end{aligned}$$

Аналогічно обчислимо пропущену для напівперіоду енергію W_2 :

$$W_2 = \frac{U^2}{R} \int_{\pi/3}^{2\pi/3} (\sin x)^2 dx = 0,51447 \frac{U^2}{R}.$$

Якщо взяти всю енергію за 100%, то таким чином, пропущена енергія складе 46%, а не-пропущена енергія складе 54%. Якщо додати не-пропущену енергію за пропонованою схемою, отримуємо без урахування втрат більш ніж дворазове підвищення корисної енергії генератора. Таким чином загальна енергія генератора W , що виробляється і йде на нагрівання охолоджуючої рідини ДВЗ, складе:

$$W = W_2 + W_1.$$

Такий результат і отримуємо у пропонованому технічному рішенні. Таке підвищення

енергії, що виробляється, а значить і підвищує гальмівний момент особливо необхідно при малих оборотах ДВЗ. Підключення активного трифазного нагрівача відбувається при малих обертах ДВЗ і відбувається при малому зарядному струмі. Пропонована нижче схема спільно зі штатним регулятором напруги включає великий струм, що подається на обмотку збудження, при малих оборотах ДВЗ, і тим самим забезпечує помітний гальмівний момент при нажатій педалі гальма. При підвищених обертах ДВЗ регулятор напруги генератора знижує струм обмотки збудження генератора і не допускає перенапруги в бортмережі та перезарядження акумулятора.

Практична реалізація технічного рішення

Результатом, що досягається зазначеним вище технічним рішенням, є постійно висока, незалежна від ступеня зарядженості акумулятора ефективність гальмування мотором-генератором, наприклад на затяжному спуску. Крім того, відбувається покращення теплового балансу ДВЗ, який у м'якому гібридному автомобілі працює обмежений час і, отже, не завжди достатньо прогрівається. Причому навіть якщо температура ДВЗ достатня, надлишок теплової енергії просто розсіюється в радіаторі системи охолодження ДВЗ. Можливість розсіювати теплову енергію цим радіатором за необхідності легко збільшити шляхом автоматичного включення електричного вентилятора, чого не можна сказати про гальмівну систему автомобіля.

Для підтвердження переваг запропонованого алгоритму розглянемо автомобіль «Ланос-пікап», конвертований у Харківському автодорожньому університеті в м'який гібридний автомобіль із зазначеним вище режимом роботи основного ДВЗ та допоміжного вентиляного електродвигуна (ВЕД). Цей електродвигун кінематично пов'язаний через поліклінову пасову передачу з вторинним валом механічної коробки передач автомобіля.

Кінематична схема трансмісії гібридного автомобіля наведена рис. 2 [10]. Фотографії електродвигуна, пов'язаного через поліклінову ремennу передачу з вторинним валом механічної коробки передач автомобіля наведена на рис. 3 [10].

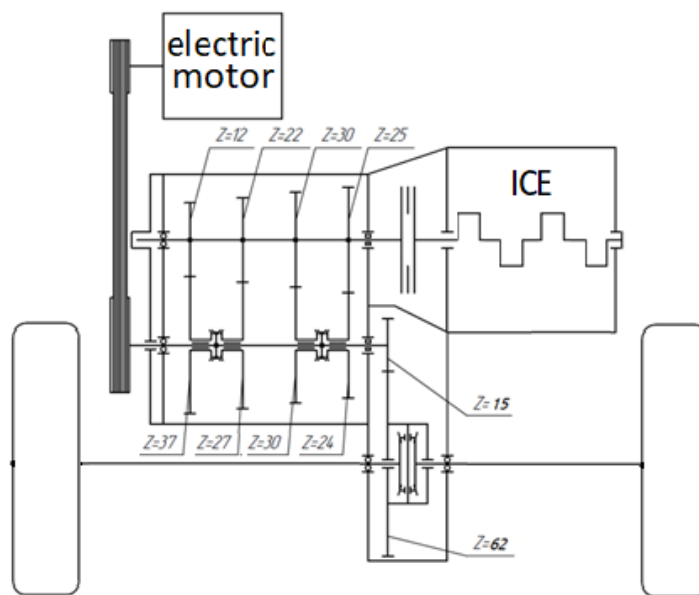


Рис. 2. Кінематична схема трансмісії гібридного автомобіля [10]

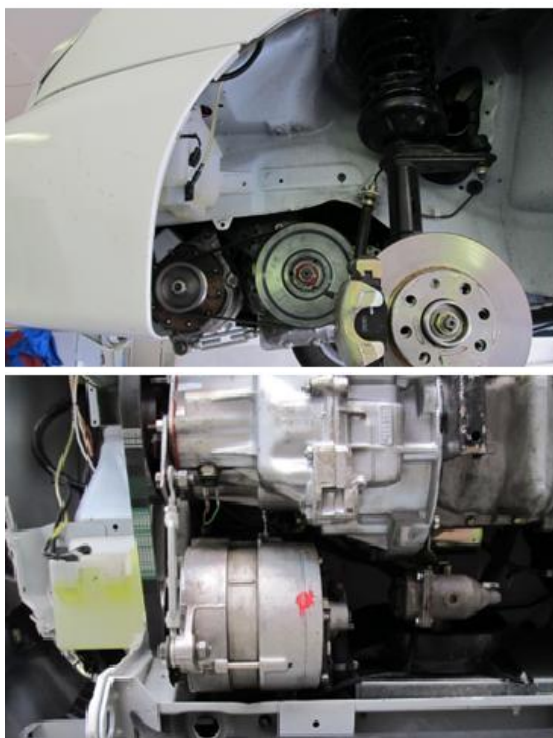


Рис. 3. Фотографії електродвигуна, пов'язаного через поліклінову пасову передачу з вторинним валом механічної коробки передач [10]

Вентильний електродвигун виконаний на основі синхронної електричної машини Г-290 з електромагнітним збудженням.

Електрична схема системи рекуперації

Як мотор-генератор використана синхронна електрична машина Г-290А потужністю 4200

вт. При оборотах вище 1450 об/хв видає напругу 25В і струм 150А. Вона має електромагнітне збудження і як генератор працює з електронним регулятором струму збудження для стабілізації вихідної напруги. Обмотки з'єднані у зірку. Активний опір лінійної фазної обмотки 40 міліом, індуктивність лінійної фазної обмотки при максимальному струмі обмотки збудження 70 мікрогенрі. Обороти, вище яких досягається напруга 28В і струм 150А при роботі з електронним регулятором струму збудження 2500 об/хв [13]. При зростанні оборотів електричної машини відбувається лінійне зростання напруги і одночасно, при цьому, зі зростанням частоти лінійно зростає індуктивний опір обмоток. В результаті відбувається самообмеження струму, що виробляється генератором.

На рис. 4 наведено принципову схему системи рекуперації. Зворотні діоди силових керованих ключів трифазного керованого моста вентильного інвертора на основі транзисторів MOSFET працюють як випрямляч в генераторному режимі електродвигуна-генератора. Такий режим використовується при рекуперативному гальмуванні. Змінна напруга фаз А, В та С генератора подається на три нагрівачі $R_{н1}$, $R_{н2}$ та $R_{н3}$ охолоджуючої рідини ДВЗ через тиристорні вимикачі. Вибір номіналу резисторів-нагрівачів $R_{н1}$, $R_{н2}$ та $R_{н3}$ (0,86 ом) здійснено з урахуванням електричної навантаженості мотора-генератора близької до максимальної в широкому інтервалі обертів. Це забезпечує достатній гальмівний момент у процесі майже всього часу службового гальмування,

рації використовувати для нагрівання охолоджувальної рідини ДВЗ, температура якої при непрацюючому ДВЗ знижується. Розглянуто теоретичне обґрунтування, чому потрібне активне трифазне навантаження електро-двигуна-генератора нагрівальними елементами в системі охолодження ДВЗ. Досягнуто ефективного рекуперативного гальмування навіть коли заряджений тяговий акумулятор. Наведено практичну реалізацію технічного рішення, для чого розроблено електричну схему системи рекуперації та принципову електричну схему блоку контролю струму.

Література

1. Iqbal, M. Y., Wang, T., Li, G. X., Chen, D. D., & Al-Nehari, M. (2022). A study of advanced efficient hybrid electric vehicles, electric propulsion and energy source. *Journal of Power and Energy Engineering*, 10(7), 1–12. <https://doi.org/10.4236/jpee.2022.107001>
2. Kia. (н.д.). Гибридни автомобілі Kia. URL: <https://www.kia.com/uk/electric-hybrid-cars/what-is-a-mild-hybrid/> Kia. (н.д.). Hibridni avtomobili Kia [Hybrid Kia vehicles]. Retrieved from <https://www.kia.com/uk/electric-hybrid-cars/what-is-a-mild-hybrid/> [in Ukrainian]
3. Chen, X., Zhong, J., Sha, F., & Zhong, Z. (2021). Research on innovative plug-in hybrid electric vehicle comprehensive energy consumption evaluation method based on statistic energy consumption. *Science Progress*, 104(4). doi: <https://doi.org/10.1177/00368504211050284>
4. Gómez-Barroso, Á., Vicente Makazaga, I., & Zulueta, E. (2025). Optimizing hybrid electric vehicle performance: A detailed overview of energy management strategies. *Energies*, 18(1), 10. <https://doi.org/10.3390/en18010010>
5. Бажинов, О. В., Смирнов, О. П., Серіков, С. А., Гнатов, А. В., & Колесніков, А. В. (2008). Гібридні автомобілі (за ред. О. В. Бажинова). Харків: ХНАДУ, 327 с. Bazhinov, O. V., Smyrnov, O. P., Serikov, S. A., Hnatov, A. V., & Kolesnikov, A. V. (2008). Hibrydni avtomobili (za red. O. V. Bazhinova) [Hybrid vehicles]. Kharkiv: Kharkiv National Automobile and Highway University, 327 p. [in Ukrainian].
6. Fernandes, P., Macedo, E., Tomás, R., & Coelho, C. (2023). Hybrid electric vehicle data-driven insights on hot-stabilized exhaust emissions and driving volatility. *International Journal of Sustainable Transportation*, 17(2), 84–102. <https://doi.org/10.1080/15568318.2023.2219629>
7. x-engineer.org. (2020). *Mild Hybrid Electric Vehicle (MHEV) – examples*. Retrieved from <https://x-engineer.org/mild-hybrid-electric-vehicles-mhev-examples/>
8. x-engineer.org. (2021). *Mild Hybrid Electric Vehicle (MHEV) – control functions*. Retrieved from <https://x-engineer.org/mild-hybrid-electric-vehicle-mhev-control-function/>
9. Traoudi, A., Haque, M. S., Luo, C., & Strzelec, A. (2021). Design and optimization of a mild hybrid electric vehicle with energy-efficient longitudinal control. *SAE International Journal of Electrified Vehicles*, 10(1), 14-10-01-0005. <https://doi.org/10.4271/14-10-01-0005>
10. Dvadenko, V., Arhun, S., Myhal, V., & Pushkar, O. (2022). Concept of a low-cost hybrid car. *International Journal of Integrated Engineering*, 14(6), 253–264. DOI: [10.30880/ijie.2022.14.06.022](https://doi.org/10.30880/ijie.2022.14.06.022)
11. Karrouchi, M. (2023). Practical investigation and evaluation of the Start/Stop system's impact on the engine's fuel use, noise output, and pollutant emissions. *e-Prime – Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy*, 6. <https://doi.org/10.1016/j.prime.2023.100310>
12. Бажинов, О. В., Двадненко, В. Я., & Колесніков, А. В. (2010). Система рекуперативного гальмування гібридного автомобіля (Патент №52009). Україна, Харківський національний автомобільно-дорожній університет. № u201001540; заявлено 15.02.2010; опубліковано 10.08.2010, Бюлетень №15. Bazhinov, O. V., Dvadenko, V. Ya., & Kolesnikov, A. V. (2010). Systema rekuperatyvnoho halmuvannia hibridnoho avtomobilia (Patent No. 52009) [Regenerative braking system of a hybrid vehicle]. Ukraine, Kharkiv National Automobile and Highway University, No. u201001540; filed 15.02.2010; published 10.08.2010, Bulletin No. 15. [in Ukrainian]
13. Василевський, В. І., & Купіїв, Ю. А. (1978). Автомобільні генератори. Транспорт, 160 с. Vasylevskyi, V. I., & Kupiiv, Yu. A. (1978). Avtomobilni heneratori [Automotive generators]. Transport, 160 p. [in Ukrainian].

Двадненко Володимир ¹, д.т.н., проф. каф. автомобільної електроніки, тел. +38 067 733 04 41, e-mail: dvadnenkovladimir@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6634-3431>

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

Improving the regenerative braking system of a mild hybrid vehicle

Abstract. Problem. Mild hybrid vehicles are a good compromise in terms of price-quality ratio among hybrid vehicles. To reduce the cost and weight, as well as to increase the efficiency of recuperation of a mild hybrid vehicle, a new algorithm for the operation of the power plant engines in the city traffic mode is proposed. In the proposed vehicle, movement with an electric drive and a stopped ICE is replaced by

uniform movement at a relatively low speed (40-50 km/h) on an asphalt road without a noticeable rise. The ICE idle mode is also excluded due to the start-stop system. Starting from a standstill and accelerating must be done on the ICE. In this driving mode, the service recuperative braking mode of the electric motor-generator is of great importance, in which a sufficient electrical load of the traction electric motor operating in the generator mode is important. The small capacity of the traction battery of the mild hybrid vehicle and the relatively high speed of regenerative service braking quickly lead to low efficiency of electric braking due to the reduced charging current of the low-capacity traction battery. **Goal.** The aim of the work is to increase the efficiency of regenerative braking. **Methodology** It is shown that in this case sufficient deceleration during regenerative braking will be achieved by connecting an active three-phase load for alternating current to the electric motor-generator. **Results.** An improved regenerative braking of a mild hybrid vehicle is considered. Excess recuperation energy is proposed for heating the internal combustion engine coolant. A theoretical justification is considered for why an active three-phase load of the electric motor-generator with heating elements in the internal

combustion engine cooling system is required. A practical implementation of the technical solution is given, for which an electrical circuit of the recuperation system and a basic electrical circuit of the current control unit are developed. **Originality.** This study provides a comprehensive solution to the technical proposal in the patent. **Practical value.** The results of this study are of value to mild hybrid vehicle developers. The knowledge gained contributes to the optimization of the regenerative braking process. This study supports the broader goal of accelerating the adoption of mild hybrid vehicles.

Key words: robotic algorithm of hybrid car engines, hybrid cars, valve electric motor, traction electric drive, hybrid power plant.

Volodymyr Dvadnenko¹, Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Automotive Electronics, tel. +38 067-733-04-41, e-mail: dvadnenkovladimir@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6634-3431>

¹Kharkiv National Automobile and Road University, 61002, Ukraine, Kharkiv, Yaroslava Mudryho str., 25.