

14. Hnatov A.V., Arhun S.V., Hnatova H.A., Sokhin P.A. Technical and economic calculation of a solar-powered charging station for electric vehicles. *Автомобільний транспорт*, Вип. 49, 2021, С. 71-78. DOI: <https://doi.org/10.30977/AT.2019-8342.2021.49.0.05>
15. Hnatov, A., & Arhun, S. (2022). Electric vehicles and energy-saving technologies – master’s degree program under the Erasmus project Cybphys. *Automobile Transport*, (51), 85–95. <https://doi.org/10.30977/AT.2219-8342.2022.51.0.09>
16. Borodenko Y. M., Hnatov A. V., Arhun S. V., Sokhin P. A. (2023) Energy aspects of automobile transport development. *Automobile Transport*, (53). P.37-50. DOI: 10.30977/AT.2219-8342.2023.53.0.05
17. Гнатов А. В., Аргун Щ. В., Сохін П. А., & Улянець О. А. (2024) Дослідження автономного джерела живлення для електромобілів та їх зарядної інфраструктури. *Вісник ХНАДУ*, (104), 130–139. DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2024.104.1.130.
18. Аргун, Щ., Гнатов, А., & Сохін, П. (2024). Ефективність енергогенеруючих плиток з різними типами мультиплікаторів. *Автомобіль і електроніка. Сучасні технології*, (25), 42–52. <https://doi.org/10.30977/VEIT.2024.25.0.5>
19. Аргун Щ. В., Гнатов А. В., Двадненко В.Я. 2024. Оптимізована система управління бустерною літій-залізо-фосфатною акумуляторною батареєю. *Автомобіль і електроніка. Сучасні технології*, (26), 10 с. DOI: 10.30977/VEIT.2024.26.0.1
20. Багач Р.В., Гнатов А. В., Аргун Щ. В. 2024. Імітаційне моделювання зарядного контролера LTC4020 для літій-іонних акумуляторів. *Автомобіль і електроніка. Сучасні технології*, (26), 11 с. DOI: 10.30977/VEIT.2024.26.0.3
21. Arhun, S., Hnatov, A., Sokhin, P., & Kunicina, N. (2025). Autonomous Power Sources for Electric Vehicles and Their Charging Infrastructure. *Energy Storage*, 7(1), e70121. DOI: <https://doi.org/10.1002/est2.70121>

## ДОСЛІДЖЕННЯ ДВОМОТОРНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

**Смирнов Олег Петрович**, докт. техн. наук, професор каф. автомобільної електроніки, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, e-mail: [smirnov1oleg@gmail.com](mailto:smirnov1oleg@gmail.com), ORCID: 0000-0003-4881-9042

**Борисенко Анна Олегівна**, канд. техн. наук, доцент каф. автомобільної електроніки, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, e-mail: [anutochka2111@gmail.com](mailto:anutochka2111@gmail.com), ORCID: 0000-0001-5992-8274

Інтеграція силових агрегатів із двома двигунами в електромобілі надає значні можливості для сприяння енергозбереженню та покращенню динамічних характеристик. Одномоторні одношвидкісні електричні транспортні засоби мають силову установку з достатньо високим загальним ККД, враховуючи, що ККД електричної машини та трансмісії може перевищувати 90 %. Однак така конфігурація трансмісії має деякі недоліки. Області низької ефективності

електричної машини зосереджені в основному в областях низького крутного моменту або низької швидкості. Тому електрична машина не може уникнути роботи в цих режимах, якщо цього вимагають умови водіння [1-6].

Основною мотивацією для використання двох тягових електричних машин у електричних транспортних засобах є можливість більш ефективного керування транспортним засобом і досягнення вищих динамічних характеристик порівняно з одним двигуном. У дослідженні [4] наведено загальні приклади роботи схем муфти моменту та швидкісної муфти (рис. 1).

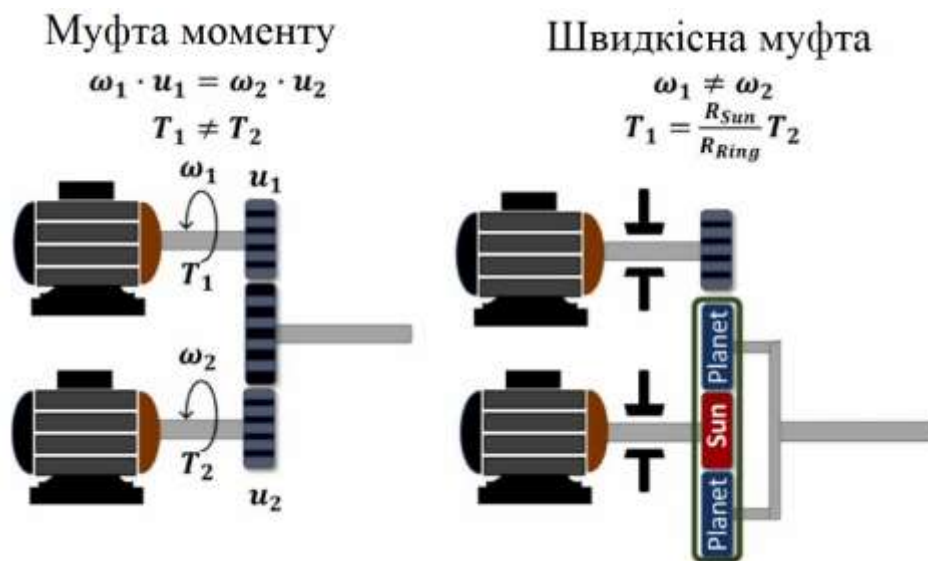


Рисунок 1 – Загальні приклади роботи схем муфти моменту та швидкісної муфти [4]

На рис. 1 швидкість позначена  $\omega$ , передавальне число –  $u$ , крутний момент –  $T$  для кожної електричної машини відповідно. Радіуси сонячної (англ. Sun) та планетарної (англ. Planet) шестерні відносно центру сонячної шестерні представлені як  $R_{Sun}$  і  $R_{Ring}$  відповідно. Коли система керування подає команди для режиму водіння з подвійним двигуном, механічна трансмісія може поєднувати дві електричні машини двома способами: за допомогою муфти крутного моменту або муфти швидкості.

У першому способі (дивись рис. 1) крутний момент електричних машин можна підсумувати, якщо їх швидкості обертання пропорційні одна одній. Муфта крутного моменту покращує ефективність прискорення автомобіля на низькій швидкості порівняно з режимами водіння з одним двигуном. Муфта крутного моменту зазвичай використовує зубчасті пари для кожної електричної машини або планетарні коробки передач. Його недолік полягає в обмеженій кінцевій швидкості, яка визначається найменшою швидкістю обертання електричних машин.

У другому способі (дивись рис. 1) електричні машини можуть обертатися з різними швидкостями та досягати вищих швидкостей автомобіля, якщо їхній крутний момент пропорційний. Для режиму водіння на основі швидкісної муфти потрібна планетарна коробка передач, але в дослідженні [5] було продемонстровано, що її можна замінити муфтами, синхронізаторами та багатошвидкісними коробками передач. Однак при цьому електрична машина з найнижчим крутним моментом обмежує максимальний крутний момент.

На рис. 2 показаний характерний графік кривих максимального крутного моменту як функція швидкості автомобіля для електричних двигунів, швидкісної муфти, а також для режиму роботи змішаної муфти, яка досягається трансмісією, здатною комплексно виконувати режими руху муфти крутного моменту та муфти швидкості.

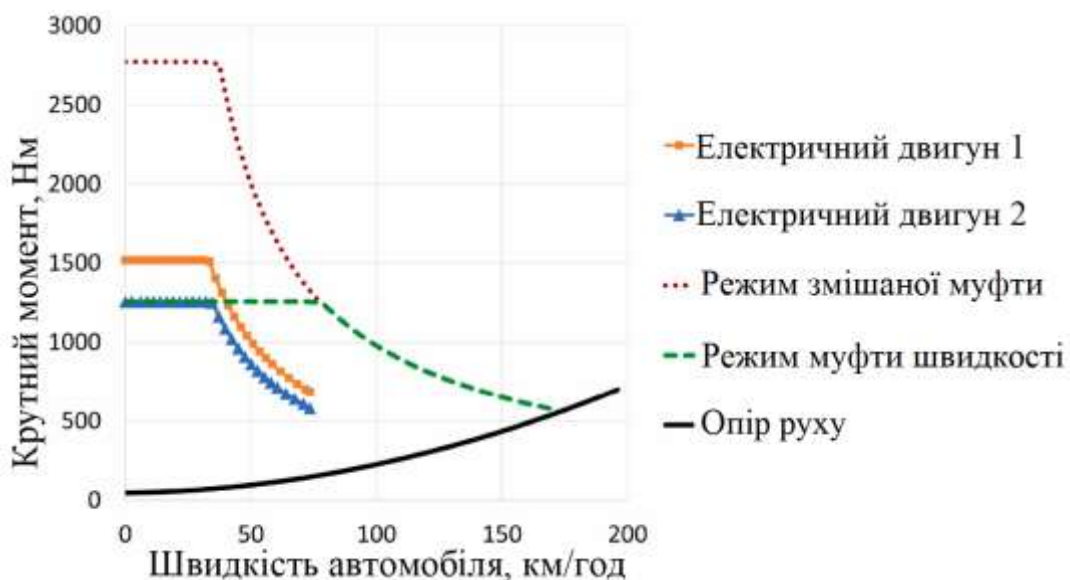


Рисунок 2 – Загальні криві максимального крутного моменту як функція швидкості автомобіля [4]

Досліджені схемні рішення побудови трансмісій, які найбільш часто використовуються у двомоторних електричних транспортних засобах, наведені на рис. 3 у вигляді узагальнених схематичних зображень.

Якщо у електромобіля одна ведуча вісь, то найбільш поширені три способи з'єднання електричних двигунів:

- за допомогою планетарної коробки передач (рис. 3, б);
- за допомогою паралельної трансмісії (рис. 3, в);
- за допомогою коаксіальної трансмісії (рис. 3, г).

Детермінована стратегія управління на основі правил є найбільш простим підходом, який може бути прийнятий для керування двомоторних електричних транспортних засобів.

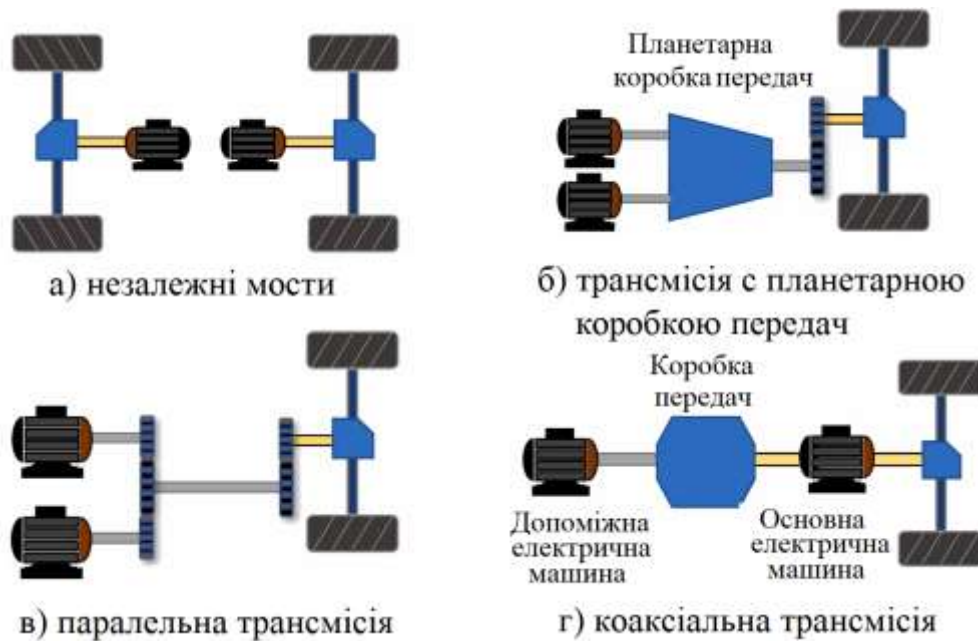


Рисунок 3 – Схемні рішення побудови трансмісій двомоторних електричних транспортних засобів [4]

Наприклад, для трансмісії з незалежним приводом осей (дивись рис. 3, а) можна запропонувати правило розподілу крутного моменту, згідно з яким передня електрична машина завжди задовольняє потреби водія у крутному моменті, поки не досягне максимального крутного моменту. У цьому випадку задній електричний двигун забезпечує додаткові потреби крутного моменту. Перевагами стратегії управління на основі правил є його проста методологія, легка реалізація, незалежність попередніх знань про цикл водіння. Однак це правило є надто спрощеним для ефективного застосування:

- по-перше, не враховуються інші обмеження, які мають обмежувати розподіл крутного моменту, такі як температура та стан заряду акумуляторної батареї для обмеження максимальної вихідної потужності батареї;
- по-друге, розподіл крутного моменту можна більш ефективно розподіляти на основі аналізу ефективності трансмісії для кожної можливої комбінації швидкості та крутного моменту та знаходить коефіцієнт розподілу крутного моменту, який забезпечує найвищий ККД електромобіля.

Загальноприйнятою практикою визначення оптимальних коефіцієнтів розподілу потужності між двома електричними двигунами є використання їх карт ефективності. Ця методологія одночасно покращує ефективність трансмісії та обчислювальної обробки. Тим не менш, стратегія управління на основі правил виключно на основі карт ефективності є надмірним спрощенням для практичного застосування. Цей метод не охоплює обмеження трансмісії, які можуть змінюватися протягом циклу водіння, наприклад, зчеплення шини з дорогою і температурою акумуляторної батареї та електричних машин. У

практичному сценарії стан заряду акумуляторної батареї або її температура стають значущими параметром трансмісії, оскільки вони визначають максимальну доступну потужність від батареї та, як наслідок, електроживлення електричних машин.

Крім найвідоміших методів керування енергією, що базуються на правилах або на основі оптимізації, використовуються системи управління, що засновані на навчанні з підкріпленням, які реалізують майже оптимальну реалізацію в реальному часі та високу адаптивність до нових, непередбачених циклів руху.

### **Висновки**

Двомоторні електричні транспортні засоби є сучасною технологією на ринку електромобілів. Вони мають потенціал для досягнення більшої економії енергії та динамічних характеристик порівняно з одномоторними. Однак для досягнення цих переваг потрібна більш складна та надійна система управління енергією.

Незважаючи на кілька досліджень [1-6], які повідомляють про кращу енергоефективність двомоторних електромобілів в порівнянні з електромобілями з одним двигуном, виявлялося, що двомоторні електромобілі мають нижчий розрахунковий запас ходу порівняно з їх аналогами з одним двигуном. Крім того, при проектуванні двомоторних електромобілів треба враховувати наступні аспекти: збільшення вартості виробництва, складність системи керування, неможливість проектування оптимізованих електричних машин для кожної моделі.

Нарешті, технології автономного водіння та підключених транспортних засобів виявилися потужними засобами підвищення безпеки, енергоефективності та довговічності електромобілів. Тим не менш, дослідження щодо їх застосування в двомоторних електромобілях все ще рідкісні.

### **Література**

1. Xu, Y., Ingelström, P., Kersten, A., Andersson, A., Klacar, S., George, S., & Sedarsky, D. (2024). Improving powertrain efficiency through torque modulation techniques in single and dual motor electric vehicles. *Transportation Engineering*, 18, 100289. <https://doi.org/10.1016/j.treng.2024.100289>
2. Tian, Y., Wang, Z., Ji, X., Ma, L., Zhang, L., Hong, X., & Zhang, N. (2023). A concept dual-motor powertrain for battery electric vehicles: Principle, modeling and mode-shift. *Mechanism and Machine Theory*, 185, 105330. <https://doi.org/10.1016/j.mechmach-theory.2023.105330>
3. Cao, K., Hu, M., Chen, L., Zhao, J., & Xiao, Z. (2024). Research on optimal economic dynamic torque distribution strategy for dual-motor four-wheel-drive considering voltage variation of power battery. *Journal of Energy Storage*, 86, 111006. <https://doi.org/10.1016/j.est.2024.111006>

4. Louback, E., Biswas, A., Machado, F., & Emadi, A. (2024). A review of the design process of energy management systems for dual-motor battery electric vehicles. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 193, 114293. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.114293>
5. Lin, X., Li, Y., & Zhang, G. (2022). Bi-objective optimization strategy of energy consumption and shift shock based driving cycle-aware bias coefficients for a novel dual-motor electric vehicle. *Energy*, 249, 123596. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.123596>
6. Hu, M., Chen, S., & Zeng, J. (2018). Control Strategy for the Mode Switch of a Novel Dual-Motor Coupling Powertrain. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 67(3), 2001–2013. <https://doi.org/10.1109/tvt.2017.2769127>

УДК 621.43

## **АВТОМОБІЛІ З ДВИГУНАМИ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ ЩЕ ДОВГО БУДУТЬ ІСНУВАТИ НА ЄВРОПЕЙСКОМУ КОНТИНЕНТІ**

**Бганцев Валерій Микитович**, канд. техн. наук, старший науковий співробітник, Інститут енергетичних машин і систем НАН України, Харків, e-mail: bgancev\_vn@ukr.net, ORCID: 0000-0003-0661-1040

Рішення про заборону виробництва нових автомобілів з двигунами внутрішнього згоряння (ДВЗ) було прийнято в Європарламенті 14 лютого 2023 року. І вже з березня 2023 р. в Європі припинили розробку нових ДВЗ. Всі інвестування та інженерні розробки було зорієнтовано на електричні та водневі силові установки. В останні роки автовиробники інвестували сотні мільярдів в розробку нових електромобілів та інфраструктури. Фірми Volvo, Ford та Audi стали представниками тих, хто декларував кінцеві дати завершення виробництва будь-яких моделей автомобілів, окрім електромобілів. При цьому законодавство ЄС за викидами не повинно диктувати, як виробники автомобілів досягнуть цільового показника нульових викидів в 2035 році [1]. За деякими обставинами попит на електромобілі дещо знизився, тоді як інтерес до гібридів значно зріс. Менеджер по довгостроковому плануванню та стратегії Kia Motors America сказав, що гібриди з їх відмінною ефективністю і низькою вартістю пропонують споживачам чудову перспективу, яка не викликає хвилювання відносно запасу ходу і дозволяє подолати розрив між ДВЗ та електротягою. В першому кварталі 2024 року на гібриди приходилось близько 8,4% загального ринку автомобілів. Створення електромобілів також значно вище за ціною у зрівнянні з ДВЗ та гібридами [2].