

мікропроцесор приймає рішення про оптимальні кроки та швидкість руху платформи.

Однак керування цією платформою не обмежується тільки внутрішнім процесорним контролем. Існує важливий аспект – взаємодія з оператором через захищений канал зв'язку. Ця система зв'язку забезпечує безпечний обмін даними та командами між оператором та платформою. Оператор може видати команду на зміну напрямку, швидкості, або виконання конкретної дії платформи через цей захищений канал.

Отже, керування універсальною рухомою платформою з електроприводом є результатом сполучення роботи датчиків кількості обертів, положення та простору, а також мікроконтролера STM32, який обробляє дані та виконує оптимальне керування. Оператор має можливість віддати команду через захищений канал зв'язку, забезпечуючи додатковий рівень контролю та взаємодії з платформою.

Узагальнюючи вищесказане, можна стверджувати, що розробка та впровадження універсальних рухомих платформ з електроприводом є важливим кроком, необхідним для досягнення високої продуктивності виконання широкого колу завдань як цивільного так і мілітарного характеру. Застосування роботизації та сучасних електронних технологій є важливим фактором сталого розвитку економіки країни та збереження людського ресурсу під час війни.

## Література

5. Dickerson, S.L., Lapin, “B.D., Control of an omnidirectional robotic vehicle with Mecanum wheels”, in National Teleystems Conference Proceedings, p. 323-328, March 26-27, Atlanta, USA, 1991.

6. Mecanum wheels (Hlon wheel) / Електронний ресурс, [Режим доступу]: <https://www.generationrobots.com/media/Mecanum-wheel-application.pdf>

Дембіцький Валерій Миколайович, к.т.н., доцент, Луцький національний технічний університет, [dvm2@meta.ua](mailto:dvm2@meta.ua)

## ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ РЕКУПЕРАТИВНОГО ГАЛЬМУВАННЯ: ОГЛЯД СУЧАСНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Ринок автомобілів з електричним та гібридним приводом на сьогоднішній день розвивається швидкими темпами. Велика кількість виробників, задекларували наміри відмовитися від двигунів внутрішнього згорання протягом найближчих 10...15 років. Такий стрімкий розвиток зумовлений активним розвитком техніки та технологій. Метою даної роботи є огляд сучасних досліджень щодо шляхів підвищення ефективності систем рекуперативного гальмування, адже при усіх перевагах застосування таких систем, їх використання на даний дозволяє повернути лише близько 30 % енергії.

У роботі [1] автори пропонують комфортну систему рекуперативного гальмування (CRBS), яка використовує штучні нейронні мережі як стратегію керування транспортним засобом для умов гальмування. При цьому забезпечується висока ефективність системи рекуперативного гальмування.

Запропонована у [2] стратегія гальмування, відповідно до розробленої системи керування дозволила збільшити пробіг автомобіля до 24 %, з врахуванням обмежень.

У статті [3] авторами пропонується стратегія керування системою рекуперативного гальмування для електричного комерційного автомобіля. Розроблений ієрархічний підхід однопедальної системи керування містить рівні аналізу намірів водія та обчислення крутного моменту. Після визначення наміру водія для визначення схеми гальмування використовується метод логічного порогу, потім використовується нечітка теорія з ухилом дороги, силою гальмування та швидкістю як вхідними параметрами, а коефіцієнт співвідношення гальмівної сили як вихідним параметром.

Багатоступенева послідовна гібридна система зберігання енергії (M-SHESS) запропонована у [4] побудована для реалізації рекуперації енергії у процесі гальмування. Фактично авторами пропонується метод керування уповільненням, заснований на обмеженні енергії.

Тематичне дослідження щодо можливостей підвищення енергоефективності під час рекуперативного гальмування громадського міського електричного транспорту (PUET) Софії за допомогою використання гібридної системи зберігання енергії (HESS), що складається переважно з суперконденсаторів наведено у [5].

У роботі [6] пропонується нова серія гідравлічної схеми для системи рекуперативного гальмування, щоб розширити діапазон енергозбереження рекуперативного гальмування та усунути фрикційне гальмування.

Результати досліджень стратегії рекуперативного гальмування наведені у роботах [7 – 12].

Актуальним є також питання розробки автомобілів з системами рекуперативного гальмування або систем рекуперативного гальмування, або їх окремих елементів, які окреслено у роботах [13 – 16].

Заслужують уваги роботи пов'язані з стратегіями водіння автомобілів [17], з використанням технологій розпізнання намірів водія [18], а також пошуку оптимального маршруту з урахуванням швидкісного режиму руху [19].

На основі проведеного аналізу сучасних публікацій результатів наукових досліджень, зокрема 2023 року, стосовно підвищення ефективності рекуперативного гальмування відмічено наступні напрямки: використання штучного інтелекту; вдосконалення конструкцій транспортних засобів; дослідження стратегій керування системами рекуперативного гальмування, в т.ч. на основі розпізнавання дій водія, визначення маршрутів руху або планування оптимальних маршрутів руху в конкретних умовах експлуатації автомобіля.

## Література

1. Hwang MH, Lee GS, Kim E, Kim HW, Yoon S, Talluri T, Cha HR. Regenerative Braking Control Strategy Based on AI Algorithm to Improve Driving Comfort of Autonomous Vehicles. *Applied Sciences*. 2023; 13(2):946. <https://doi.org/10.3390/app13020946>.
2. Ali Hosseini Salari, Hossein Mirzaeinejad, Majid Fooladi Mahani, A new control algorithm of regenerative braking management for energy efficiency and safety enhancement of electric vehicles, *Energy Conversion and Management*, Volume 276, 2023, 116564, ISSN 0196-8904, <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2022.116564>.
3. Li Z, Shi Z, Gao J, Xi J. Research on Regenerative Braking Control Strategy for Single-Pedal Pure Electric Commercial Vehicles. *World Electric Vehicle Journal*. 2023; 14(8):229. <https://doi.org/10.3390/wevj14080229>
4. J. Wang, C. Pan, L. Chen and H. Jiang, "Regenerative braking control of multi-step series hybrid energy storage system with energy constraint for practical operation," in *CSEE Journal of Power and Energy Systems*, doi: 10.17775/CSEEJPES.2022.02120.
5. V. Totev, H. Vasilev, V. Gueorgiev and I. Angelov, "Hybrid Energy Storage System To Increase Energy Efficiency During Regenerative Braking Of Urban Electrical Transport," 2023 18th Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems (ELMA), Varna, Bulgaria, 2023, pp. 1-4, doi: 10.1109/ELMA58392.2023.10202547.
6. Farhad Khajvand, Mohammad Zareinejad, Seyed Mehdi Rezaei, Keivan Baghestan, Design and implementation of a series hydraulic hybrid propulsion system to increase regenerative braking energy saving range, *Energy Conversion and Management*, Volume 279, 2023, 116754, ISSN 0196-8904, <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2023.116754>.
7. M. Qiu, W. Yu, L. Wang, B. Zhang and H. Zhao, "A Regenerative Braking Control Strategy for ICVs Considering the Coupling Effect of Driving Conditions and Driving Styles," in *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 72, no. 6, pp. 7195-7210, June 2023, doi: 10.1109/TVT.2023.3242729.
8. A. Raghuvanshi and A. Ojha, "An Overview of the Regenerative Braking Technique and Energy Storage Systems in Electric, Hybrid, and Plug-In Hybrid Electric Vehicles," 2023 IEEE International Students' Conference on Electrical, Electronics and Computer Science (SCEECS), Bhopal, India, 2023, pp. 1-6.
9. M. Ziadia, S. Kelouwani, A. Amamou and K. Agbossou, "An Adaptive Regenerative Braking Strategy Design Based on Naturalistic Regeneration Performance for Intelligent Vehicles," in *IEEE Access*, vol. 11, pp. 99573-99588, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3313553
10. Bautista-Montesano R, Galluzzi R, Mo Z, Fu Y, Bustamante-Bello R, Di X. Longitudinal Control Strategy for Connected Electric Vehicle with Regenerative Braking in Eco-Approach and Departure. *Applied Sciences*. 2023; 13(8):5089. <https://doi.org/10.3390/app13085089>

11. Wanmin Li, Haitong Xu, Xiaobin Liu, Yan Wang, Youdi Zhu, Xiaojun Lin, Zhixin Wang, Yugong Zhang, Regenerative braking control strategy for pure electric vehicles based on fuzzy neural network, Ain Shams Engineering Journal, 2023, 102430, ISSN 2090-4479, <https://doi.org/10.1016/j.asej.2023.102430>.

12. Barroso, D., Emadi, A., and Bruck, L., "Driver-in-the-Loop Drivability and Energy Efficiency Analysis of Regenerative Braking Strategies for Electric Vehicles," SAE Technical Paper 2023-01-0480, 2023, <https://doi.org/10.4271/2023-01-0480>.

13. Kumar, G. S., Ashish, P. S., Sireesha, P., & Gayatri, P. Design and fabrication of regenerative braking system (RBS): a review.

14. Rafael Rivelino da Silva Bravo, Artur Tozzi de Cantuaria Gama, Amir Antonio Martins Oliveira, Victor Juliano De Negri, Component sizing and sensitivity analysis of design parameters of a hydraulic-pneumatic regenerative braking system for heavy duty vehicles, Energy, Volume 264, 2023, 126021, ISSN 0360-5442, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.126021>.

15. Abhinav Saxena, Amit Kumar Dash, Rahul Virmani, Prashant, Nitya Srivastava & Prateeksha Ranjan (2023) Design of LQR-based FLC for the Optimal Regenerative Braking Controlling of Solar PV-based Electric Vehicle System, IETE Journal of Research, DOI: 10.1080/03772063.2023.2171916

16. A. Chowdhury, M. M. R. Fahim, A. K. M. M. H. Sajib, S. H. F. Bhuyan and M. A. Rahman, "Development of Hybrid Charging Controller for Electric Vehicle with Regenerative Braking System," 2023 IEEE 8th International Conference for Convergence in Technology (I2CT), Lonavla, India, 2023, pp. 1-6, doi: 10.1109/I2CT57861.2023.10126210 .

17. Puszta Z, Kőrös P, Szauter F, Friedler F. Implementation of Optimized Regenerative Braking in Energy Efficient Driving Strategies. Energies. 2023; 16(6):2682. <https://doi.org/10.3390/en16062682>

18. Jia, Q., & Tang, P. (2023, May). Simulation of Electric Vehicle Regenerative Braking Control Strategy Based on Brake Intention Recognition. In Journal of Physics: Conference Series (Vol. 2492, No. 1, p. 012018). IOP Publishing.

19. Mohammadi M, Fajri P, Sabzehgar R, Harirchi F. Autonomous Electric Vehicle Route Optimization Considering Regenerative Braking Dynamic Low-Speed Boundary. Algorithms. 2023; 16(6):262. <https://doi.org/10.3390/a16060262>

Моргунов Олександр Сергійович, магістр, Харківський національний автомобільно-дорожній університет [morgunov859@gmail.com](mailto:morgunov859@gmail.com)

## **АЛГОРИТМ КОНВЕРТАЦІЯ АВТОМОБІЛЯ MITSUBISHI ASX 2010 В ЕЛЕКТРОМОБІЛЬ**

Сучасний світ стикається з серією серйозних екологічних проблем, включаючи забруднення повітря та вичерпання природних ресурсів. Один із ключових кроків у вирішенні цих проблем - перехід до екологічно чистого транспорту [1]. Однією з перспективних альтернатив є переобладнання автомобілів із ДВЗ на електромобілі [2, 3]. Метою цієї роботи є дослідження