

## РОЗВИТОК КОНСТРУКЦІЙ ГАЛЬМІВНИХ СИСТЕМ АВТОТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ У КОНТЕКСТІ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ

**Сасов Олександр Олександрович**, канд. техн. наук, доцент кафедра автомобілів та транспортно-логістичних систем, Дніпровський державний технічний університет,

e-mail: [sasov@ukr.net](mailto:sasov@ukr.net), ORCID: 0000-0002-8697-6324

**Головань Михайло Сергійович**, здобувач другого (магістерського) рівня вищої освіти, Дніпровський державний технічний університет,

e-mail: [golovanm@ukr.net](mailto:golovanm@ukr.net)

Безпека руху є ключовим фактором розвитку автотранспортних засобів. За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ), щороку у світі в дорожньо-транспортних пригодах гине близько 1,3 млн осіб, і в понад 20 % випадків причиною аварій є недостатня ефективність гальмування або несправність гальмівної системи [1]. Саме тому її вдосконалення має вирішальне значення.

Можна виділити основні етапами розвитку гальмівних систем автотранспортних засобів:

- механічні гальма початку ХХ ст. забезпечували гальмівний шлях автомобіля на швидкості 40 км/год у межах 25–30 м [2];
- впровадження гідравлічного приводу (1920-ті рр.) дозволило зменшити гальмівний шлях на 20–25 % [2];
- пневматичні гальма (1930–1950-ті рр.), що стали стандартом для вантажівок і автобусів, забезпечували стабільний тиск до 0,8–1,0 МПа, дозволяючи реалізувати значно більші зусилля на колісних механізмах [1];
- перехід на дискові гальма з 1960-х років зменшив ризик перегріву, забезпечивши стабільність коефіцієнта тертя (0,35–0,45) навіть при нагріванні до 500 °С [3].

Сучасні тенденції вдосконалення конструкцій:

1. Антиблокувальні системи (ABS). Вперше серійно встановлені у 1978 р. на автомобілях Mercedes-Benz у кузові W116. Сьогодні системи ABS входять до стандартної комплектації понад 95 % нових легкових авто у світі. Випробування показали, що ABS зменшує ризик ДТП на слизькому покритті на 18–20 % [1].

2. Системи електронного розподілу гальмівних зусиль (EBD). Дозволяють знизити гальмівний шлях на 5–7 % порівняно з базовою ABS [2].

3. Системи стабілізації (ESP). За даними ЄС, масове впровадження ESP з 2014 року зменшило кількість аварій, пов'язаних із заносами, на 25 % [1].

4. Стоянкові електронні гальма (EPB). Нині встановлюються у понад 70 % нових автомобілів бізнес-класу, що спрощує конструкцію та зменшує вагу системи на 2–3 кг [2].

5. Рекуперативне гальмування. В електромобілях рекуперативне гальмування дозволяє повернути до 20–30 % енергії, витраченої на розгін, назад в акумулятор. У міському циклі це може збільшити запас ходу на 10–15 % [4].

6. Матеріали. Використання вуглецево-керамічних дисків знижує масу гальмівного механізму на 40–50 %, збільшуючи ресурс до 250–300 тис. км (проти 60–80 тис. км у чавунних дисків) [5].

Перспективи розвитку:

Brake-by-wire. Повна електрифікація приводу скорочує час реакції з 0,3–0,4 с (гідравлічні системи) до 0,05–0,1 с [6].

Інтеграція з ADAS. У майбутніх автомобілях гальмівна система буде працювати в комплексі з камерами, радаром та LiDAR. Очікується, що до 2030 р. понад 80 % нових авто отримає адаптивне автоматичне гальмування [1].

Автономний транспорт. Тут гальмівні системи повинні мати дублювання вузлів і працювати без участі людини, що вимагає підвищення надійності до рівня 99,999 % (так звана п'ятикратна відмовостійкість) [6].

## Висновки

Еволюція гальмівних систем — від механічних до електронно-керованих — забезпечила скорочення гальмівного шляху сучасного легкового автомобіля зі швидкості 100 км/год з 40–45 м (1970-ті рр.) до 32–35 м (2020-ті рр.) [2]. Подальший розвиток спрямований на цифровізацію та інтеграцію з автономними системами керування. Це дозволить знизити аварійність на дорогах і забезпечити високий рівень безпеки навіть у безпілотному транспорті.

## Література

1. WHO. *Global status report on road safety 2023*. – Geneva: World Health Organization, 2023. – 405 p.
2. Шепеленко А. В. Конструкція та експлуатація автомобілів: підручник. – Харків: ХНАДУ, 2019. – 420 с.
3. Heisler H. *Advanced Vehicle Technology*. – 2nd ed. – Butterworth-Heinemann, 2002. – 568 p.
4. Bosch. *Automotive Handbook*. – 10th ed. – Wiley, 2018. – 1372 p.
5. Wong J. Y. *Theory of Ground Vehicles*. – 4th ed. – Wiley, 2008. – 592 p.
6. ISO 26262:2018. *Road vehicles – Functional safety*. – International Organization for Standardization, 2018.