

УДК 629.013.001

Абажей Є.П.

асп. НУ «Запорізька політехніка»

**ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ПРОХІДНОСТІ
КОЛІСНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ: ВІД МЕХАНІЧНИХ
БЛОКУВАНЬ ДО ЕЛЕКТРИЧНОЇ ВЕКТОРИЗАЦІЇ КРУТНОГО
МОМЕНТУ**

Підвищення прохідності колісних транспортних засобів (КТЗ) при русі по ґрунтах, які деформуються, та бездоріжжю залишається актуальною

інженерною задачею. Традиційно для її вирішення застосовуються механічні пристрої блокування диференціала, які забезпечують примусовий перерозподіл крутного моменту між ведучими колесами. Однак поширення гібридних силових установок (ГСУ) з незалежним електроприводом ведучих коліс відкриває принципово нові можливості, зокрема технологію Torque Vectoring (TV) яка дозволяє здійснювати безперервний та незалежний розподіл потоку потужності між колесами [1, 2].

Аналіз взаємодії рушія з опорною поверхнею в тяговому режимі кочення показує, що ефективність реалізації тягового зусилля визначається коефіцієнтом ковзання колеса. Для опорних поверхонь, що деформуються (грунт, сніг, зволожена дернина), оптимальне ковзання за тяговими властивостями знаходиться в межах 0,15...0,45, після чого тягова сила різко знижується. Механічне блокування диференціалів, примушуючи всі колеса обертатися з однаковою кутовою швидкістю, не дозволяє підтримувати оптимальне ковзання незалежно для кожного колеса і може призводити до надмірного буксування та погіршення тягових властивостей КТЗ.

Технологія Torque Vectoring на базі ГСУ принципово змінює підхід до забезпечення прохідності КТЗ. Електродвигуни здатні формувати крутний момент з часом реакції менше 20 мс, що є на порядок швидшим за механічні актуатори. Це дозволяє реалізувати адаптивні алгоритми, які в реальному часі відслідковують режими кочення кожного колеса, та оптимізувати розподіл потоків потужності за критерієм максимальної тяги. Цільова функція керування сформулюється як мінімізація відхилення фактичного ковзання від оптимального:

$$J = \sum[(\delta_i - \delta_{\text{опт}})^2 + \alpha(\Delta M_i)^2], \quad (1)$$

де δ_i – поточне ковзання i -го колеса; $\delta_{\text{опт}}$ – оптимальне ковзання; ΔM_i – відхилення моменту від базового значення; α – вагова стала регулятора.

Проведений аналіз свідчить, що застосування Torque Vectoring на базі ГСУ є більш ефективним рішенням поліпшення тягових властивостей КТЗ порівняно з механічним блокуванням диференціалів в умовах екстремальних навантажень.

У таблиці 1 наведено порівняльні характеристики розглянутих методів підвищення прохідності за ключовими критеріями.

Таблиця 1 – Порівняльний аналіз методів підвищення прохідності колісних транспортних засобів

Критерій	Механічне блокування	Torque Vectoring (TV)
Час реакції	~200 – 500 мс	< 20 мс
Розподіл моменту	Дискретний (0/100%)	Безперервний (0 – 100%)
Вплив на стійкість	Погіршення	Покращення
Ефективність на слабкому ґрунті	Висока при симетричному буксуванні	Висока з адаптацією
Складність	Низька	Висока
Адаптивність	Відсутня	Програмована

TV забезпечує безперервний та адаптивний контроль тяги, підвищує курсову стійкість і знижує руйнівний вплив на ґрунт. Подальший розвиток досліджень передбачає математичне моделювання динаміки КТЗ із ГСУ та верифікацію алгоритмів TV на фізичному стенді.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Vanlalhriatpuia F. та ін. A comprehensive review on intelligent torque vectoring control for electric vehicle // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers – 2025. DOI: 10.1177/01445987251328181.

2. Крайник Л.В., Кіхтан А.В., Габрієль Ю., Ужва А. Методичні засади визначення базових параметрів гібридного приводу автомобіля високої прохідності [Електронний ресурс] // OUCI – 2022. URL: <http://semantic scholar.org/paper/Методичні-засади-визначення-базових-параметрів-Крайник-Кіхтан/373f1f9594358fa3a83a8a36e0ae192cf82e16b8>.